

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

Análisis de Sistema de Evacuación de Humos en una Nave Industrial con software FDS.

Autor: Antonio Urzaiz García-O'Neill

Tutores: Estanislao Nuñez Delgado, Manuel Villalba García

Dep. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Análisis de Sistema de Evacuación de Humos en una Nave Industrial con software FDS.

Autor:

Antonio Urzaiz García-O'Neill

Tutores:

Estanislao Núñez Delgado

Manuel Villalba García

Dpto. Ingeniería de la Construcción y Proyectos de la Ingeniería

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Trabajo Fin de Grado: Análisis de Sistema de Evacuación de Humos en una Nave Industrial con software FDS.

Autor: Antonio Urzaiz García-O'Neill

Tutores: Estanislao Núñez Delgado, Manuel Villalba García

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Quisiera agradecer a varias personas la ayuda que me han prestado en la realización de este Trabajo Fin de Grado. Entre ellas, y en primer lugar a mis tutores, por todo lo que me han transmitido y enseñado durante estos meses. Por haber confiado en mí en todo momento para la realización de este trabajo. Ante las dificultades que se han presentado siempre han estado dispuestos a dedicarme su tiempo y su conocimiento. Se lo agradezco profundamente.

También quiero agradecer la ayuda que me ha sido prestada por parte del departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de la Ingeniería. Tanto durante estos años de grado como durante la realización del Trabajo Fin de Grado han estado siempre dispuestos a facilitarme los medios para completar mi formación académica.

No puedo olvidar tampoco a Jara, Antonio, Blanco y Jesús con los que durante estos años de grado he compartido asignaturas, agobios, penas y alegrías. Este trabajo es también en parte gracias a ellos, por lo que les estoy muy agradecido.

Y a toda mi familia: en especial a mis padres y a mis hermanos. Han sido un apoyo constante, y me lo han dado todo y siguen apoyándome cada día.

Todas las personas que han sido aquí citadas han colaborado en la realización de este trabajo. Unos, directamente conmigo en la Escuela, y otros, apoyándome día a día. Que este agradecimiento se haga extensivo a todos los años de carrera.

Antonio Urzaiz García-O'Neill

Sevilla, 2018

Resumen

El objeto de este trabajo es el estudio del software FDS, el cual simula, basándose en el modelo de campo, incendios producidos en determinados escenarios en unas condiciones concretas. Como motivación práctica para la aplicación de los conocimientos adquiridos respecto a este software se dimensionará el sistema de control de temperatura y evacuación de humos de una nave de almacenamiento.

El diseño del Sistema de Control de Temperatura y Evacuación de Humos de la nave se realizará primero según la norma UNE EN 23585, la cual garantiza un diseño seguro; y seguidamente se introducirá dicho diseño en el software de tal forma que se simulará con las condiciones impuestas por normativa.

Una vez realizadas las simulaciones, se estudiará la influencia que tienen los parámetros de entrada de las mismas en los resultados obtenidos. De esta forma se podrá concluir si el usuario, modificando ciertos parámetros, es capaz de obtener resultados a su conveniencia. Esto último indicaría que las simulaciones de FDS serán un fiel reflejo de la realidad si, y solo si, el usuario introduce los parámetros fielmente.

La nave tendrá las siguientes características:

- Nave de almacenamiento, el producto almacenado se trata de bebidas espirituosas, con un contenido en alcohol superior al 20%. El empaquetado de dicho producto es en botellas de vidrio que a su vez se encuentran almacenadas en estanterías con una altura de almacenamiento de 7 metros. Las botellas se encuentran organizadas en cajas de cartón colocadas sobre palés de madera que irán en los estantes del almacén.
- En estudios previos a este trabajo se ha diseñado el sistema de protección contra incendios, compuesto principalmente por rociadores tipo ESFR con una temperatura de activación de 93°C.

Abstract

The aim of this work is the study of the FDS software, which simulates, based on the field model, fires produced in certain scenarios under certain conditions. As a practical motivation for the application of the knowledge acquired with this software, the temperature control and smoke evacuation system of an industrial building will be dimensioned.

The design of the Control System of Temperature and Evacuation of Smoke of the warehouse will be carried out first according to the standard UNE EN 23585, which is supposed to guarantee a safe design with enough margin, and then this design will be introduced in the software in such way that it will be simulated with the conditions imposed by regulation.

These simulations carried out with FDS will serve to study and learn the different parameters that must be introduced in FDS and how they affect the results obtained in a greater or lesser measure, in such manner that we will reach conclusions about the capacity to adapt the inputs to the FDS simulation in order to obtain the desired results.

The warehouse will have the following characteristics:

- Storage building, the stored product is spirituous beverages, with an alcohol content above 20%. The packaging of this product is in glass bottles which are stored on shelves with a storage height of 7 meters. The bottles are organized in cardboard boxes placed on wooden pallets that will go on the shelves of the warehouse.
- In studies prior to this work, the fire protection system has been designed, consisting mainly of ESFR type sprinklers with an activation temperature of 93°C.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Índice de Ilustraciones	xvii
Índice de Tablas	xix
1. Introducción y Análisis Descriptivo	12
1.1. <i>Introducción al incendio.</i>	12
1.1.1. Concepto de fuego.	12
1.1.2. Control de humos y movimiento de humos.	14
1.2. <i>Introducción a los SCTEH.</i>	15
1.3. <i>Introducción al concepto de los rociadores ESFR.</i>	19
1.4. <i>Relación entre funcionamiento de los ESFR y el SCTEH.</i>	19
2. Necesidad de SCTEH según RSCIEI	24
2.1. <i>Estudio según el RSCIEI</i>	24
2.2. <i>Necesidad de SCTEH.</i>	25
3. Sistema de Control de Temperatura y Evacuación de Humos	26
3.1. <i>Datos.</i>	26
3.2. <i>Geometría de la nave.</i>	26
3.3. <i>Altura libre de humos (Y)</i>	29
3.4. <i>Modelo de incendio</i>	30
3.5. <i>Cálculo de la superficie aerodinámica de evacuación de humos:</i>	31
3.6. <i>Selección de los aireadores:</i>	32
3.7. <i>Selección de las cortinas de humos:</i>	36
4. Simulaciones con FDS	40
4.1. <i>Código general:</i>	40
4.2. <i>Escenario 1:</i>	51
4.2.1. Temperatura en el plano x = 19:	53
4.2.2. Temperatura en el plano y = 13:	54
4.2.3. Temperatura en el plano z = 9:	55
4.2.4. Temperatura en el plano z = 2:	56
4.2.5. Planos de toxicidad:	57
4.2.6. Capa de humos:	58
4.2.7. Visibilidad a 2 y a 7.5 metros de altura:	60
4.2.8. Partículas de agua:	61
4.3. <i>Escenario 2:</i>	62
4.3.1. Temperatura en el plano x = 19:	64
4.3.2. Temperatura en el plano y = 13:	66
4.3.3. Temperatura en el plano z = 9:	67
4.3.4. Temperatura en el plano z = 2:	68
4.3.5. Planos de toxicidad	69
4.3.6. Capa de humos:	69
4.3.7. Visibilidad a 2 y a 7.5 metros de altura:	70
4.4. <i>Escenario 3:</i>	71
4.4.1. Temperatura en el plano x = 19:	71
4.4.2. Temperatura en el plano y = 13:	72
4.4.3. Temperatura en el plano z = 9:	73
4.4.4. Temperatura en el plano z = 2:	73

4.4.5.	Planos de toxicidad	74
4.4.6.	Capa de humos:	75
4.4.7.	Visibilidad a 2 y a 7.5 metros de altura:	75
4.5.	<i>Escenario 4:</i>	76
4.5.1.	Temperatura en el plano x = 19:	76
4.5.2.	Temperatura en el plano y = 13:	77
4.5.3.	Temperatura en el plano z = 9:	78
4.5.4.	Temperatura en el plano z = 2:	79
4.5.5.	Planos de toxicidad	79
4.5.6.	Capa de humos:	80
4.5.7.	Visibilidad a 2 y a 7.5 metros de altura:	81
4.6.	<i>Escenario 5:</i>	82
4.7.	<i>Escenario 6:</i>	83
4.8.	<i>Influencia de los parámetros de FDS utilizados en la simulación:</i>	84
4.9.	<i>Conclusiones generales:</i>	88
4.9.1.	Entradas	88
4.9.2.	Salidas	89
ANEXOS		92
I.	Cálculo de Superficie de Salida de Humos	93
1.1.	<i>Datos.</i>	93
1.2.	<i>Caudal que entra en el penacho de humos.</i>	93
1.3.	<i>Promedio de Temperatura absoluta en la capa flotante.</i>	94
1.4.	<i>Superficie total de aireadores naturales de extracción de humos.</i>	94
II.	Guía de uso de FDS	96
II.1.	<i>Introducción a FDS:</i>	96
II.1.1.	Elementos del software FDS:	96
II.1.2.	Uso de FDS	97
II.2.	<i>Creación del archivo de entrada:</i>	97
II.2.1.	Nombrando el archivo de entrada	97
II.2.2.	Nomenclatura en el archivo de entrada	97
II.2.3.	Estructura en el archivo de entrada	98
II.2.4.	Dar nombre al trabajo	98
II.2.5.	Definir el tiempo de simulación	99
II.2.6.	Definir la malla	99
II.2.7.	Definir parámetros Misceláneos	100
II.2.8.	Definir las condiciones iniciales de la simulación.	100
II.2.9.	Definir el solucionador de presiones.	101
II.2.10.	Definir los límites.	101
II.3.	<i>Construcción del modelo:</i>	102
II.3.1.	Superficies de contorno.	102
II.3.2.	Obstrucciones.	102
II.3.3.	Agujeros.	103
II.3.4.	Ventilaciones.	103
II.3.5.	Color de obstrucciones, ventilaciones, superficies y mallas.	104
II.3.6.	Objetos repetidos.	104
II.4.	<i>Fuego y condiciones térmicas del contorno:</i>	105
II.4.1.	Temperatura en una superficie y flujo de calor.	105
II.4.2.	Flujo de calor convectivo en sólidos.	105
II.4.3.	Modelos simples de pirólisis	108
II.5.	<i>Ventilaciones:</i>	109
II.5.1.	Modelo simple de ventilación:	109
II.6.	<i>Viento:</i>	110
II.6.1.	Añadir el viento en FDS:	110

<i>II.7. Combustión:</i>	<i>111</i>
II.7.1. Reacciones de paso único y mezcla controlada:	111
<i>II.8. Dispositivos y controladores:</i>	<i>113</i>
<i>II.9. Salidas:</i>	<i>117</i>
III. Planos	124
III.1. Planos de la nave:	124
III.2. Planos de los rociadores:	125
IV. Códigos FDS	126
V. Guía de usuario de SMV	138
V.1. Introducción:	138
V.2. Visualización de los datos:	138
V.3. Explorando los resultados:	140
V.4. Explorando los resultados:	140
V.5. Automatizando la visualización.	141
V.6. Personalizando la escena.	142
Capítulo 2: visualizando el fuego.	142
Bibliografía	144

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Triángulo del fuego	12
Ilustración 2. Tetraedro del fuego	13
Ilustración 3. Diferencias edificios con/sin SCTEH. Control de altura de capa de humos	16
Ilustración 4. Elementos del SCTEH.	18
Ilustración 5. Curva control incendio. Rociadores de supresión vs rociadores de control.	22
Ilustración 6. Depósitos de humos y cortina de humos.	27
Ilustración 7. Vista cenital exterior.	27
Ilustración 8. Sección vertical longitudinal con estanterías.	28
Ilustración 9. Sección Transversal con estanterías.	28
Ilustración 10. Funcionamiento de los dos depósitos de humos	28
Ilustración 11. Vista en detalle de cortina de humos y sellado de huecos entre cerchas y cubierta.	29
Ilustración 12. Ubicación de los exutorios.	31
Ilustración 14. Subdepósito con sus dos exutorios.	33
Ilustración 15. Vista de los exutorios en isométrica.	34
Ilustración 16. Sección longitudinal	35
Ilustración 17. Sección transversal	36
Ilustración 18. Simulación del exterior de la nave.	37
Ilustración 19. Vista general del interior de la nave.	37
Ilustración 20. Vista del interior de la nave desde altura de visión de 1.8 metros.	38
Ilustración 21. Vista desde la zona del muelle de carga y descarga.	38
Ilustración 22. Vista interior con exutorios instalados.	38
Ilustración 23. Límites de los factores C e RTI para la orientación normal	48
Ilustración 24. Contornos de dispersión del agua	48
Ilustración 25. Normativa referente a rociadores de supresión.	49
Ilustración 26. Ubicación de los rociadores.	63
Ilustración 27. Conflicto en las dos vigas que se observan en medio de la ilustración.	84
Ilustración 28. Curva de evolución del fuego.	87
Ilustración 29. Rociador activo y sin activar.	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Punto de inflamabilidad alcoholes.	13
Tabla 2. Determinación de los parámetros del modelo de incendio	30
Tabla 3. Superficie aerodinámica según el tipo de exutorio.	33
Tabla 4. Dimensiones del exutorio según el tipo.	34
Tabla 5. Peso por exutorio en función del tipo.	35
Tabla 6. Categorías de clasificación temperatura /tiempo normalizadas.	36
Tabla 7. Conversión de combustible en humo	43
Tabla 8. Resumen Escenarios simulados.	88
Tabla 9. Parámetros con valores fijos.	88
Tabla 10. Resumen de resultados obtenidos.	89

1. INTRODUCCIÓN Y ANÁLISIS DESCRIPTIVO

1.1. Introducción al incendio.

En este apartado se pasa a explicar los conceptos básicos relacionados con el incendio, el movimiento de humos y el fuego.

1.1.1. Concepto de fuego.

Un fuego es una reacción química de combustión, una oxidación rápida de una sustancia generando calor, luz (llamas), humo y gases. Todo fuego necesita tres elementos indispensables para iniciarse, definimos así el “triángulo del fuego”:



Ilustración 1. Triángulo del fuego

La materia que se quema (se oxida) es denominada combustible. Por ejemplo: madera, papel, alcohol, butano... Los fuegos se pueden clasificar según el combustible que está ardiendo.

La energía necesaria para iniciar la reacción es denominada calor. Según el combustible, esta será más o menos grande. Un sólido como la madera necesita de cientos de grados de temperatura y un gas como el butano solamente necesita la energía de una chispa.

Lo que reacciona (se oxida) con el combustible generando así la combustión es denominado comburente. Normalmente será el oxígeno presente en el aire (21% de oxígeno y 79% de nitrógeno), pero también puede ser un sólido o un líquido como el agua oxigenada. Cada combustible necesita de una cantidad determinada de comburente para que se produzca la combustión.

Una vez iniciado el fuego, su continuidad o su extinción dependerá de los anteriores factores y de un nuevo factor. Dicho factor es denominado reacción en cadena que representa el cuarto eslabón del conocido como tetraedro del fuego:



Ilustración 2. Tetraedro del fuego

Para entender en qué consiste la reacción en cadena debemos saber que para que haya llamas en un fuego siempre debe haber gases. Cuando la cantidad de gases producidos es suficiente el fuego se autoalimenta, es decir, el fuego genera más calor que produce más gases que, a su vez, provoca un aumento en la generación de calor y así sucesivamente. Este fuego no se apaga hasta que se elimine alguno de los cuatro elementos.

La reacción en cadena es un concepto químico complejo que depende principalmente de las características del combustible: composición, estado físico, humedad, tamaño... Está relacionado con la facilidad para producir esos gases combustibles. La madera arde antes si la tenemos seca y en pequeños trozos porque necesita menos temperatura para que empiece la reacción en cadena.

Los sólidos, con el calor, se descomponen emitiendo sustancias volátiles muy reactivas que son las que arden y forman la llama. Este fenómeno se conoce como pirólisis y se da en cualquier materia orgánica (no se da en metales ni en vidrios). En el caso estudiado, el polietileno, el cartón y la madera serán los sólidos que provoquen la aparición de la llama.

En los sólidos orgánicos se da el fenómeno de la combustión incandescente, es decir, la combustión lenta sin llama (se puede ver en las ascuas o brasas que se usan para asar alimentos, en un cigarrillo o en una barita de incienso). En el caso estudiado podría darse con la madera de los palés.

Si no se produce la reacción en cadena será por el agotamiento de las sustancias volátiles, por la falta de calor para generarlas y/o por la falta de oxígeno.

En cuanto a los líquidos (material que se encuentra en la nave estudiada) deben evaporarse para poder arder. Por eso, si están en un recipiente, arden solo en superficie y la llama estará flotando sobre él. Según su temperatura de inflamación o flash point (aquella a la que generan suficientes gases para arder en presencia de una fuente de ignición) serán más o menos peligrosos. Para el caso del alcohol almacenado en la nave estudiada será de unos 26°C.

Tabla 1. Punto de inflamabilidad alcoholes.

Concentración de etanol (% vol)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	96
Temperatura (°C)	62	49	36	29	26	24	22	21	20	17	17

Los gases combustibles ya se encuentran listos para arder y siempre lo hacen en su totalidad (si hay suficiente oxígeno) y sin dejar residuos.

Si se retira cualquier eslabón del tetraedro se apagará el fuego.

1.1.2. Control de humos y movimiento de humos.

Se define el humo como un conjunto o masa visible de partículas sólidas y líquidas en suspensión, y la mezcla de vapores y gases calientes que se produce durante el proceso de combustión, y la cantidad de aire que se ve, de alguna manera, mezclado en esa masa.

Con el fin de describir el movimiento de humo en edificios, dicho tratamiento se divide en dos zonas generales. Estas zonas son:

1. Zona de Humo Caliente: aquellas zonas del edificio en las cuales la temperatura del humo es lo suficientemente alta para que el cuerpo del humo tienda a elevarse hacia el techo, mientras que el aire limpio (o al menos, con menos polución) descienda hacia las partes más bajas del espacio en cuestión. Normalmente, esto ocurre en la habitación donde tiene origen el incendio. De la misma manera, dependiendo del nivel de la energía producida por el incendio y del tamaño de las aberturas que lo conectan, por ejemplo, puertas abiertas, etc., las zonas de humo caliente se extienden a las habitaciones adyacentes o pasillos. La ventilación de humo en los patios y el movimiento del humo en los pasillos abiertos hacia espacios donde se puede producir la combustión súbita generalizada, están en el entorno de la zona de humo caliente donde éste es elevado y conducido por las fuerzas producidas directamente por el incendio.
2. Zona de Humo Frío: aquellas zonas del edificio donde se ha reducido la fuerza de las corrientes conductoras del incendio, debido a que el humo se ha combinado, o se ha transferido de alguna manera, con otros elementos. En estas zonas, el movimiento del humo se controla en primer lugar debido a otras fuerzas, tales como el viento, los efectos de la calefacción mecánica, ventilación, aire acondicionado u otros sistemas que influyen en el movimiento del aire. En estas zonas el movimiento de humo es, esencialmente, el mismo que el movimiento de cualquier otro elemento de polución.

Se pasa a estudiar el movimiento del humo en la zona de humos calientes:

1. Movimiento del humo en la zona de humo caliente, del cual es necesario saber que:
 - a. El desarrollo del Incendio: los incendios progresan exponencialmente una vez que ha transcurrido un tiempo de incubación y aparecen las llamas por primera vez, se denomina este evento ignición. A partir de ese momento entra en la fase de crecimiento caracterizado por un aumento continuo de la tasa de generación de calor hasta llegar a una tasa máxima. Luego durante un cierto tiempo (el cual depende de la cantidad de combustible disponible) se estará generando calor a una tasa aproximadamente constante para luego empezar a decaer cuando el combustible se agota.
 - b. Los penachos: columnas de humos que se producen por encima del incendio y que consisten en el volumen por el cual el humo asciende desde el incendio hasta la capa de humos. El calor de un fuego al aire libre se eleva en forma de columna de gases calientes, denominada penacho. La corriente de aire resultante absorbe aire frío en la base del fuego, en todas direcciones. Ese aire frío es también absorbido por el penacho, por encima del suelo, debido a la masa de aire caliente que se eleva. Ese movimiento de aire frío hacia el penacho se llama arrastre y enfría la temperatura del penacho, a medida que aumenta su altura.
 - c. Incendios en Lugares Cerrados: cuando los penachos chocan con los techos o las paredes de una habitación, afecta a la circulación de humo y gases calientes y a la propagación del

incendio. Los incendios con poca producción de calor y alejados de las paredes u otras superficies que los limiten se comportarán como si estuvieran al aire libre.

- d. Fuegos al aire libre: si no existe un techo sobre un fuego y está lejos de las paredes, los gases y el humo calientes del penacho se elevan verticalmente. Esta situación se produce en los incendios al aire libre. Las mismas condiciones se pueden dar en un edificio, en las primeras fases cuando el penacho es pequeño o si el fuego se produce en un espacio amplio con techo alto, como un hall de entrada. La propagación del fuego a partir de un penacho al aire libre será fundamentalmente mediante la combustión por radiación de los combustibles que haya cerca.

La propagación del fuego se produce principalmente por radiación y convección de calor hacia los combustibles de los alrededores. La velocidad de propagación del fuego a los sólidos será generalmente baja, a no ser que esté fomentada por el movimiento del aire o por superficies inclinadas que permiten el precalentamiento del combustible. Debido a que la convección es un medio de propagación del fuego entre los combustibles, uno de los factores críticos en los desarrollos de los incendios es la composición de materiales del entorno, cuanto menor sea su resistividad a la conducción de calor mayor será la velocidad de propagación del fuego.

1.2. Introducción a los SCTEH.

Las siglas SCTEH denominan a los Sistemas de Control de Temperatura y Evacuación de Humos. Este es el nombre que se le da en la norma UNE 23585 a las instalaciones de evacuación de humos que van a ser estudiadas, en este proyecto, tanto desde el punto de vista del diseño basado en la normativa como desde el del diseño basado en prestaciones mediante el uso del programa de reconocido prestigio en este campo FDS (basado en modelo de campo).

Dichos Sistemas de Control de Temperatura y Evacuación de Humos se diseñan de tal forma que se realizan una serie de aberturas tanto para la evacuación de humos y los gases producto del incendio como para la entrada de aire atmosférico de reemplazo del aire de salida.

Los SCTEH se han de colocar en aquellos edificios donde haya la posibilidad de que se produzca un incendio. A la hora de dimensionar las aberturas se hará para los casos de incendios más desfavorables, en los cuales se impone que se ha de garantizar una altura libre de humos. Gracias a esto se conserva el incendio en un estado parecido al de sus etapas iniciales hasta el momento en el que se pasa a la extinción.

Justificación de porqué hay que controlar el humo producido por un incendio en el interior de un edificio, los objetivos, aunque obvios son los siguientes:

- Protección de personas. La causa principal del número de pérdidas humanas no es sólo la invasión del humo en la zona afectada por el incendio, sino el que pueda afectar a los medios y vías de evacuación que necesitaran estar en condiciones de permitir la circulación de los ocupantes hasta un lugar suficientemente seguro.
- Facilitar la intervención de los servicios de extinción.
- Evitar la propagación del incendio.
- Disminuir los efectos de las altas temperaturas sobre la integridad estructural de los edificios sometidos a los efectos del incendio y con ellos también aumentar la posibilidad de evacuación de los ocupantes. La potencia térmica de los gases también es la responsable de los fenómenos de flashover, rollover y backdraft, y que afectan directamente a la capacidad portante de la estructura.

El humo es uno de los factores más importantes a tener en cuenta tanto por su influencia en la propagación del incendio como por su composición a base de gases a altas temperaturas y con sustancias tóxicas. Por esto, es muy importante conocer y predecir el movimiento del humo en el interior del edificio. Para ello se utilizan los modelos de zona y de campo, con la idea de controlar dicho comportamiento y diseñar la instalación de tal forma que permita cumplir los objetivos antes expuestos.



Ilustración 3. Diferencias edificios con/sin SCTEH. Control de altura de capa de humos

Los métodos para el control del movimiento del humo se basan en:

1. La dilución: conserva la concentración del humo constante en una región ante la entrada de humo de otras regiones. Útil para casos en los cuales el volumen de humo entrante es pequeño respecto al volumen total de humo en la región.
2. La extracción: se consigue provocando una diferencia de presión en un conducto extractor mediante el uso de ventiladores. Útil para uso en regiones con mala ventilación natural.
3. La compartimentación: basado en el control del humo, confinándolo en zonas donde no afecte mucho su presencia y evacuándolo desde estas zonas al exterior. Lo más fácil es mantener el humo en el área donde está presente el incendio y evitar su propagación a las zonas adyacentes con el uso de las llamadas cortinas de humos, exutorios o la generación de una diferencia de presiones que evite la salida del humo de dicha región.

Los elementos que se utilizan en un SCTEH son:

De **salida**, que pueden ser:

- Natural: gracias a la diferencia de densidades de los gases calientes con el aire atmosférico que permite el flujo del humo en dirección ascendente de tal forma que la evacuación de humos es no forzada. Para esta evacuación se usan aperturas en la parte superior de las regiones afectadas que son llamadas exutorios o aireadores.

Se define exutorio como un dispositivo con capacidad de apertura y cierre. Otra de sus funciones fuera de la seguridad contra incendios es la ventilación del edificio de forma periódica.

Según la norma UNE 23585 en su apartado 7.1., la activación de un SCTEH puede ser de apertura automática o manual, según sus condiciones de funcionamiento. En el caso en estudio será de

activación manual por los servicios de extinción, para que, gracias a esta apertura de los exutorios, puedan entrar en la nave para la extinción del incendio.

Un parámetro muy importante a la hora de utilizar un exutorio es el coeficiente aerodinámico de éste, que viene siendo la tasa del valor real del flujo, medido según la norma UNE-EN 12101 a partir del valor C_v de salida o el C_i de entrada. El coeficiente aerodinámico lo proporciona el fabricante. Tipos de exutorios en el mercado son:

1. De lamas dispuestas en paralelo, de tal forma que al estar en posición horizontal el exutorio está cerrado y al estar en posición vertical, el exutorio estará abierto. Es el más común debido a su gran capacidad que permite que se reduzca el número de ellos a colocar. Es el tipo de exutorio que se ha decidido usar en el diseño de la instalación de SCTEH para la nave estudiada, debido a que en el interior de la nave no habrá ningún tipo de aclimatador, por lo tanto, no será necesario un exutorio que aisle bien térmicamente y de la humedad del exterior. Además, tampoco será necesario que el exutorio deje pasar la luz natural puesto que el almacén de la nave posee iluminación.
 2. De ventana, mediante el uso de bisagras.
 3. De claraboya, es una compuerta para la evacuación de grandes volúmenes de humo. Como principal ventaja tiene el buen aislamiento térmico que ofrece al edificio (obviamente cuando está cerrado).
- Forzada: mediante el uso de extractores basados en ventiladores. Se caracterizan por ser extractores de todo o nada, es decir, sin variador. En cuanto a la configuración pueden ser tanto axiales como centrífugos. Deben funcionar a una temperatura de 200 °C durante al menos 2 horas. La entrada de los humos al sistema de evacuación forzada está protegida contra el fuego. Los elementos que componen este tipo de sistema son la red de conductos, el sistema de control y las entradas de aire al sistema.

De **entrada**: para evitar que se produzca una diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio, que sea desfavorable para la evacuación, se usan también aperturas en las zonas bajas de las regiones (siempre con cota inferior a la altura mínima de humos impuesta) para la entrada de aire. Esta entrada del aire se produce con la función de sustituir al volumen de gases que ha sido evacuado por el SCTEH, permitiendo así el equilibrio. Pueden estar abiertas siempre o contar con un sistema de apertura automática cuando se abran los exutorios. En el caso estudiado no será necesaria la incorporación de estos elementos puesto que, al disponer de dos depósitos de humos, uno de ellos será el que desaloje el humo (el que se encuentre en la vertical del incendio) y el otro se encargará de dar entrada a la nave al aire de sustitución.

Barreras de humo: su objetivo es evitar la propagación del humo y el confinamiento de éste en la región de incendio. La norma UNE 23585 obliga a su uso para conseguir confinar el humo en un espacio inferior a 2000 m². Su principal objetivo es evitar que la capa de humos se aleje de la región de incendio y se enfríe cayendo al suelo y llevando los gases tóxicos y los problemas de visibilidad a bajas alturas del edificio.

Las barreras de humo son:

1. Fijas. Como su nombre indica son barreras que constituyen un elemento constructivo o una cortina inhífuga fijas. En el caso de estudio, para conseguir la correcta compartimentación de los humos en los dos depósitos diseñados, se utilizará la viga intermedia de la nave, la cual se deberá cegar en su parte superior para garantizar la estanqueidad entre viguetas, junto con una cortina de humos que colgará desde la parte inferior de la viga hasta una altura de 7 metros.
2. Automáticas, se ocultan en un falso techo de manera que permanecen ahí hasta que reciben la señal del controlador cuando se detecta el inicio del incendio. Suelen ser de longitud hasta una altura calculada lo suficientemente baja como para no permitir el desborde del humo y si permitir el paso de personas.

Están compuestas por varios elementos, que son:

- Cortina de humo de material impermeable al humo y los gases y resistentes a altas temperaturas. Su longitud dependerá de la altura libre de humos calculada.
- Si es automático el sistema de barreras ante el humo, entonces también se tiene:
 - a. Cajones, donde se guardan las cortinas.
 - b. Tambor tubular, para enrollar a su alrededor a la cortina.

- c. Regleta de cierre, pieza que cierra el cajón cuando la cortina se encuentra recogida.
- d. Motor que recoge o extiende la cortina.

Hay distintos tipos:

1. Las encargadas de evitar que el humo se enfríe y descienda al alejarse del incendio, se llaman barreras de sectorización. La utilizada en el caso de estudio es de este tipo.
2. Las que evitan que el humo fluya entre plantas de forma vertical, se llaman barreras delimitadoras.
3. Las que buscan reducir el frente de humos que asciende a las plantas superiores, se llaman barreras de canalización.

Elementos de **control**:

· Compuesto por los detectores de humos que pueden ser:

1. Ópticos. Posee un rayo de luz que se transmite en su interior y que es interrumpido por la irrupción del humo en el sistema, esto hace que se active la alarma. Se usan para detección puntual y pueden ser analógicos (indican el nivel de humo o la concentración) o digitales (detectan la presencia o la variación de humo, pero sin conocer el nivel).
2. Térmicos. Detecta el incendio no el humo, funciona basándose en la fusión de un elemento a una temperatura determinada y elevada. Únicamente se pueden instalar en locales con una altura máxima de 7 metros.
3. De radiación. También es un detector de incendio, basándose en sistemas electrónicos que detectan la radiación. Se usan generalmente en espacios abiertos.
4. Iónicos. Basándose en un principio de ionización del aire son capaces de detectar humos no visibles. Son sensibles al incendio de crecimiento rápido. Actualmente en desuso.
5. Lineales. Se tratan de barreras infrarrojas que permiten detectar cuando hay una pérdida de visibilidad. Constan de un trasmisor, un detector y una unidad de control.

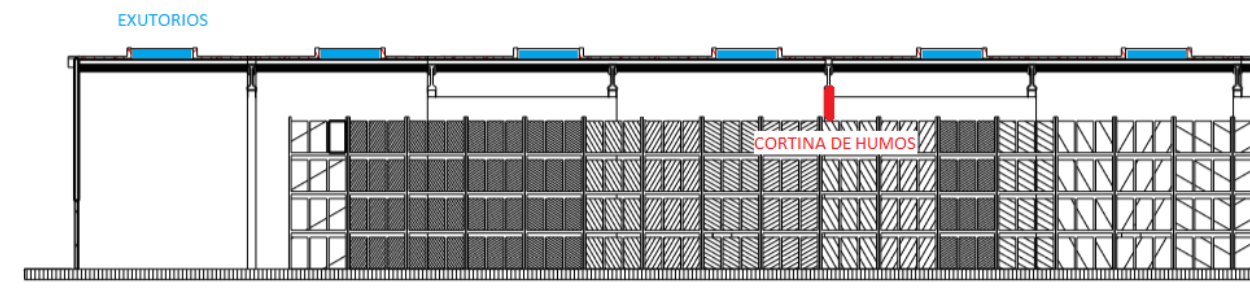


Ilustración 4. Elementos del SCTEH.

1.3. Introducción al concepto de los rociadores ESFR.

Los rociadores que van a ser utilizados en la nave estudiada son rociadores de supresión de respuesta rápida, denominados ESFR. Actualmente son los rociadores automáticos más fiables para la extinción de fuegos.

La razón para su instalación es que va a evitar el uso de rociadores intermedios en la instalación estudiada que consta de estanterías y que en cualquier otro caso exigiría rociadores intermedios en los estantes, con lo cual se encarecería mucho el precio de la instalación y el montaje.

Los rociadores ESFR según el coeficiente de descarga K, pueden ser clasificados en K14, K17, K22 y K25 siendo de menor a mayor el caudal de descarga necesario para cada tipo de rociadores.

Concretamente se va a utilizar el modelo ESFR-25 con factor K 25. Posee modo de supresión y permiten prescindir del uso de rociadores intermedios cuando se trata de proteger un almacén con estantes en altura. Su instalación necesita de una separación entre rociador y el techo de 460 milímetros. Su uso es válido para estanterías de hasta 12.2 metros de altura y naves de 18.7 metros de altura sin la necesidad de usar rociadores entre bastidores. Con estas dimensiones se puede comprobar que el rociador es válido para la nave estudiada.

En definitiva, la instalación de rociadores tendrá las siguientes características:

1. La posición del rociador será colgante, con los brazos del marco alineados al tubo y deflectores paralelos al techo de la nave.
2. El sistema es húmedo.
3. Con un área de cobertura máxima de 9.3 metros cuadrados y mínima de 5.8 metros cuadrados. En el caso de estudio, el área de cobertura por rociador es de 8.5 m².
4. La inclinación de techo en la nave estudiada es del 6% aproximadamente y el rociador admite hasta una inclinación del 16.7%.
5. Con un espaciado máximo de 3.1 y 2.4 metros respectivamente.

El funcionamiento se basa en un fusible compuesto por dos mitades unidas por una fina capa de soldadura que se funde a la temperatura nominal, separándose las dos mitades y permitiendo el flujo del agua.

Al ser rociadores de supresión de incendio su objetivo será acabar con el incendio, es decir, si todo funcionase bien (tal y como está diseñado) deberán extinguir el incendio. Como se ha explicado anteriormente, el SCTEH representa una medida de seguridad para el caso en el que no extinga el fuego con la activación de los rociadores ESFR, en tal caso, el SCTEH servirá como ayuda a los servicios de extinción de incendios. Por ello la activación manual del SCTEH, puesto que si tras la activación de los rociadores el nivel de humos disminuye significará que éstos han funcionado. Concretamente, en el caso de la nave estudiada, se trata de un almacén, en el cual no se prevé que haya que realizarse evacuación de personal, por lo tanto, la altura de la capa de humos no será un factor crítico.

1.4. Relación entre funcionamiento de los ESFR y el SCTEH.

En cuanto a la relación entre los rociadores tipo ESFR y el SCTEH de tiro natural se ha de señalar que se trata de una relación que se está produciendo bastante en los últimos años. Por esto, se han realizado diferentes estudios al respecto, en los cuales se ha concluido que dicha relación es beneficiosa puesto que provoca un aumento de la seguridad equivalente del establecimiento. Por otro lado, dicha relación beneficiosa supone una complicación a la hora del diseño del SCTEH de forma que ha de ser más cuidadosa para conseguir cumplir los objetivos de protección perseguidos.

Concretamente, se han de tener en cuenta estos aspectos:

1. Los rociadores al actuar disminuyen la temperatura de la capa de humos hasta una temperatura menor

a la temperatura a la que funde el fusible. Como consecuencia de esto, la temperatura de la capa de humos va a ser media-baja y esto va a dificultar el tiro natural producido por las diferencias de temperaturas en el aire exterior y en el humo. Por lo tanto, se ha de dimensionar una temperatura de operación de los rociadores lo suficientemente alto como para permitir el tiro natural del humo y lo suficientemente bajo como para que se activen los rociadores lo antes posible y eviten daños mayores.

Por ello, se ha de tener en cuenta que la capa de humos resultante tendrá una temperatura media-baja. Dicha temperatura estará por debajo de la de tarado del fusible, dificultando así el tiro natural producido por la diferencia de temperaturas, pero sin llegar a impedir el tiro natural. Como en el caso de estudio la temperatura de fusión es de 93°C, será suficiente para permitir el tiro natural por debajo de ella.

2. El confinamiento total de los humos en el interior del depósito de humos afectado por el incendio se ve dificultado por la capa de humos con una temperatura baja y la velocidad de expansión de dicha capa de humos. Las cortinas de humos han de diseñarse de tal forma que se evite la expansión del humo más allá de los límites del depósito de humos. Por ello se dimensiona la cortina de humos de tal forma que cuelge hasta una altura de 7 metros que viene siendo la altura máxima de las estanterías.
3. Nivel de confinamiento es limitado, debido a que las cortinas de humos no pueden llegar hasta el suelo:

El confinamiento total de los humos en el interior del depósito afectado es en ocasiones un objetivo demasiado exigente para el SCTEH además de ser prescindible para la consecución de los objetivos que se persigue.

Entre los factores que dificultan el confinamiento de los humos por parte de las cortinas que delimitan los diferentes depósitos se encuentran la velocidad con la que estos alcanzan el citado límite y en especial su temperatura. Cuando se cuenta con una instalación de rociadores ESFR se genera una capa de humos fría, lo que dificulta no sólo su extracción sino su confinamiento.

Además, en el caso de un SCTEH con más de un depósito donde se pretende utilizar los exutorios de los depósitos no afectados por el incendio para reemplazar el aire, la compartimentación mediante cortinas fijas juega un papel fundamental para determinar qué aireadores contribuyen a la evacuación de humo y cuáles al reemplazamiento de aire, dado que en la vertical de aquellos exutorios donde se presente un gradiente de temperatura positivo por la presencia de capa de humos se establecerá un caudal saliente por cuestiones de empuje térmico. Si la mayor parte de aireadores contribuyen a la evacuación de humo probablemente la capacidad de reemplazamiento de aire será insuficiente para mantener el tiro del sistema, hasta que de manera espontánea y para equilibrar la situación, parte de los exutorios que extraen invertirán el sentido de su flujo introduciendo aire pese a tener capa de humos en su vertical. Esta circunstancia implica el empuje hacia las cotas bajas del establecimiento de parte de la capa de humos, deteriorando de nuevo las condiciones ambientales. En definitiva, una deficiente capacidad de confinamiento de los humos termina por afectar a las condiciones ambientales sobre las vías de evacuación y por tanto alejaría al SCTEH de cumplir los objetivos de garantizar una evacuación segura de los ocupantes y servir de ayuda a las operaciones de lucha contra incendios por medio de los cuerpos de bomberos.

De forma habitual, pero especialmente en presencia de ESFR, debe exigirse al SCTEH una capacidad de confinamiento tal que los humos que puedan escaparse del depósito afectado no supongan un riesgo para mantener las condiciones ambientales dentro de los márgenes de salubridad. No debe ser una preocupación que la inercia de funcionamiento de los rociadores ESFR haga que una cierta cantidad de humos pase a los depósitos adyacentes, porque esto no implica unívocamente que el SCTEH no contribuya a la consecución de los objetivos para los que se incluye en el establecimiento.

Una posible medida para evitar que el sentido del movimiento del aire se invierta, provocando el descenso de la capa de humos en algunas zonas, es el de abrir entradas de aire a nivel de suelo de tal forma que estén coordinadas con los exutorios y permitan la admisión de aire necesaria. Esta medida también será favorable para el caso en el que el incendio se produzca bajo la cortina de humos, provocando una división del penacho de humos que hará que se vaya formando una capa de humos en ambos depósitos de humos del establecimiento. Es un escenario que no va a ser contemplado en este trabajo.

4. Apertura del SCTEH.

Parece lógico que cuando el objetivo principal en un establecimiento sea la protección de los bienes que allí se contienen/almacenan se priorice la actuación del sistema de rociadores de forma que se limite la superficie afectada por la combustión. Tras la consecución de esto debe producirse la activación del SCTEH previsto para la gestión de los humos que genera el incendio resultante tras la acción de los rociadores. En el caso de estudio se realizará de forma manual tal y como se ha comentado anteriormente.

Los SCTEH se diseñan teniendo en cuenta la disponibilidad de una superficie determinada que realice la función de reemplazamiento de aire y que garantice el correcto funcionamiento del sistema. En especial en un SCTEH con más de un depósito si se realiza la apertura de los aireadores de manera manual cuando se produzca la llegada del servicio de bomberos o se implementan retardos de tiempo elevados, es posible que para el momento en el que entre en funcionamiento el SCTEH ya no lo haga bajo las condiciones de diseño por haberse extendido la masa de humos a toda o la gran mayoría de superficie del establecimiento.

Uno de los argumentos que suele esgrimirse para retardar lo máximo posible la apertura del SCTEH, es el que sostiene que puede impedir la apertura de los rociadores requeridos para controlar/suprimir el incendio. Esta afirmación resulta cuanto menos cuestionable en el caso de un establecimiento con presencia de ESFR, entre otros motivos porque la actuación de uno solo de estos rociadores genera un nivel de enfriamiento tal a su alrededor que de por sí dificulta o impide la activación de más unidades.

Lógicamente no se está afirmando que en una instalación de ESFR se activa siempre un único rociador. Existen algunas situaciones donde es fácil que se produzca el accionamiento de más de un rociador, entre las que destacan:

- i. En la vertical del incendio se tienen dos unidades a una distancia similar y se activan prácticamente de manera simultánea
- ii. La situación relativa del rociador con respecto a la superficie afectada por la combustión hace que la incidencia del agua sobre ella no sea óptima, posibilitando que el incendio continúe desarrollándose.

Ante este último caso, las temperaturas en la vertical del incendio van a ser muy elevadas dado que el incendio ha continuado su desarrollo tras la activación del primer rociador. El hecho de tener el SCTEH abierto apenas modifica el perfil de temperaturas en la zona de incidencia directa o cuasi directa del penacho y por ello no retrasa la activación del segundo rociador de manera significativa.

Al ser rociadores de supresión de incendio su objetivo será acabar con el incendio, es decir, si todo funcionase bien (tal y como está diseñado) deberán extinguir el incendio. Como se ha explicado anteriormente, el SCTEH representa una medida de seguridad para el caso en el que no extinga el fuego con la activación de los rociadores ESFR, en tal caso, el SCTEH servirá como ayuda a los servicios de extinción de incendios. A esto se debe la activación manual del SCTEH, puesto que si tras la activación de los rociadores el nivel de humos disminuye significará que éstos han funcionado. Concretamente, en el caso de la nave estudiada, se trata de un almacén, en el cual no se prevé que haya que realizarse evacuación de personal, por lo tanto, la altura de la capa de humos no será un factor crítico.

A la hora de la simulación hemos de aclarar que el modelo de incendio usado es el modelo básico, el cual simula

el fuego como una entrada determinada de calor y productos de una reacción de combustión a través de una superficie. Esto supone que los rociadores, en el modelo simplificado, no tienen la capacidad de extinguir el fuego. En la siguiente ilustración se muestra la curva de desarrollo del fuego en el caso de utilizar rociadores de supresión frente al caso en el cual se utilizan únicamente rociadores de control.

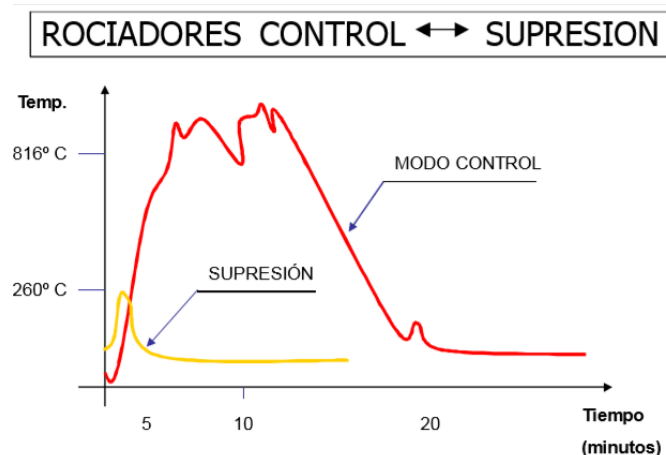


Ilustración 5. Curva control incendio. Rociadores de supresión vs rociadores de control.

Como resumen de lo expuesto:

1. Cuando se realiza el diseño de un SCTEH que va a coexistir con un sistema de rociadores ESFR es necesario tener en cuenta que debemos gestionar humos fríos, delimitar correctamente la compartimentación en depósitos con el objetivo de mantener las vías de evacuación libres de “humos”, y definir una secuencia de activación adecuada entre el sistema de rociadores ESDR y el sistema de control de humos.
2. En cuanto a la relación entre SCTEH y los rociadores ESFR es perfectamente compatible teniendo en cuenta que debe realizarse un correcto diseño mediante técnicas de ingeniería avanzada de simulación de incendios. Para ello se va a simular el comportamiento de la nave ante un incendio tipo usando el software FDS y se va a decidir si el diseño es apropiado o no.
3. En cuanto al confinamiento del humo en los depósitos se ha de realizar mediante una correcta compartimentación en el foco del incendio y teniendo en cuenta las posibilidades de filtraciones al depósito contiguo y la posibilidad de incorporar entradas de aire a nivel suelo.
4. Los SCTEH deben activarse según sus condiciones de diseño, con el objetivo de limitar la presencia de humos en las vías de escape y garantizar la correcta evacuación de los ocupantes. No deben esperar a que se hayan activado los rociadores ESFR para actuar.

2.NECESIDAD DE SCTEH SEGÚN RSCIEI

2.1. Estudio según el RSCIEI

El Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, tiene por objetivo alcanzar un nivel de seguridad suficiente en caso de incendio en los establecimientos e instalaciones de uso industrial. Al aumentar la seguridad, se consigue disminuir el impacto en daños y pérdidas tanto para las personas como para los bienes materiales (que también afectan a su entorno) producido por un incendio.

El caso que ocupa la Nave Industrial estudiada entra dentro del ámbito de aplicación del RSCIEI según el Art. 2 punto 1 del capítulo I debido a que se trata de un almacenamiento industrial.

Para determinar cuáles son las condiciones y requisitos que es necesario satisfacer, en función de la configuración, relación con su entorno y nivel de riesgo intrínseco, se acude al anexo I. El establecimiento industrial estudiado presenta una configuración de ubicación TIPO C puesto que está ocupando totalmente un edificio, el cual se sabe que está compuesto por la nave de almacenamiento estudiada, un muelle de carga y descarga, una zona de oficinas, un almacén de producto sin embalar, una zona de proceso de embotellado del producto, laboratorios y, por último, una sala de depósitos. Dicho establecimiento se encuentra separado de edificios ajenos.

La nave-almacén estudiada se encuentra colindando con la zona de embotellamiento, los laboratorios, el almacén de producto sin embalar y el muelle de carga y descarga.

Según el punto 3.1. del anexo I, se denominará (de ahora en adelante) como sector o área de incendio de un edificio a un espacio delimitado por elementos que tienen una resistencia al fuego suficiente durante un tiempo determinado para cada caso.

Habiendo determinado el almacén que se va a estudiar como un sector de incendios, se pasa a evaluar su nivel de riesgo intrínseco, según el punto 3.2 del anexo I. Se ha de utilizar la fórmula:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} C_i h_i s_i}{A} \cdot R_a \left[\frac{MJ}{m^2} \right] \text{ ó } \left[\frac{Mcal}{m^2} \right]$$

siendo:

Q_s = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m² o Mcal/m².

C_i = coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

R_a = poder calorífico, en MJ/kg o Mcal/kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

A = superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m².

q_{vi} = carga de fuego, aportada por cada m³ de cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio, en MJ/m³ o Mcal/m³. Puede obtenerse de la tabla 1.2.

h_i = altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles, (i), en m.

s_i = superficie ocupada en planta por cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio en m^2 .

Definiendo los combustibles que se encuentran en el almacén como licores con gradación mayor a 20% de alcohol en volumen y de tipo espirituoso. Para obtener el C_i se debe acudir a la norma ITC MIE-APQ1 y ver a que clasificación pertenece dicho líquido.

Se obtiene que $C_i = 1.3$, $q_{vi} = 800 \text{ MJ/m}^2$, $h_i = 6.5 \text{ m}$, $R_a = 1.5$, $s_i = 561 \text{ m}^2$ y $A = 1580.86 \text{ m}^2$

Y, por lo tanto, se tiene que la densidad de carga de fuego es:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} C_i h_i s_i}{A} \cdot R_a = \frac{800 \cdot 1.3 \cdot 6.5 \cdot 1.5 \cdot 561}{1580.86} = 3598.38 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Este valor, según la tabla 1.3. del Anexo I, implica que, para una configuración del tipo C, el Nivel de Riesgo Intrínseco es Alto 6.

Con este valor de NRI y sabiendo la superficie ocupada por la nave de almacenamiento, se comprueba si cumple los requisitos impuestos por el RSCIEI en el Anexo II en la tabla 2.1. Se comprueba que, para dichos parámetros propios de la nave, el área máxima es de 3000 m^2 y teniendo en cuenta la nota (3), que indica que en el caso de haber rociadores la superficie será de 6000 m^2 . Que en cualquier caso cumpliría sin necesidad de la instalación de rociadores, lo que conlleva que es válida la suposición inicial de un solo sector de incendio en toda la nave de almacenamiento.

2.2. Necesidad de SCTEH.

Dependiendo de la configuración y geometría del establecimiento estudiado se determinará si es necesario o no la incorporación de una instalación de Control de Temperatura y Evacuación de Incendios.

En el punto 7 del RSCIEI que versa sobre la “ventilación y eliminación de humos y gases de la combustión en los edificios industriales”.

Para las zonas de incendio en almacenamientos, se establece la necesidad de SCTEH para cuando dichas zonas de incendio sean mayores que 800 m^2 para el caso de NRI alto. Como es obvio, el caso estudiado en este proyecto supera este límite de superficie impuesto, por lo que, se necesita un SCTEH.

Como se ha visto la necesidad de instalar un SCTEH en este establecimiento, se pasa ahora a diseñar y dimensionar dicho sistema.

3. SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y EVACUACIÓN DE HUMOS

La instalación del sistema de control de temperatura y evacuación de humos se va a realizar tras haber realizado un intenso trabajo de formación sobre el tema y bajo el conocimiento del comportamiento del humo.

Se ha puesto como requisito inicial que sea un sistema de extracción natural siempre que se cumplan las condiciones para ello, como el en caso estudiado, el establecimiento posee un porcentaje de perímetro de fachada al exterior superior al 50%, por lo tanto, se puede realizar una extracción natural. Como conclusión, queda definido que los sistemas se basarán en la extracción natural.

3.1. Datos.

Se tomará: $T_{amb} = 20^{\circ}\text{C}$, $C_p = 1.004 \text{ kJ/kg}$, $\rho_{amb} = 1.2 \text{ kg/m}^3$ y $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Recordando que se dispone de una instalación de rociadores con una $T_{disparo} = 93^{\circ}\text{C}$

3.2. Geometría de la nave.

Se introducen las dimensiones de la nave, incluyendo ancho, largo y alturas máximas y mínimas. También es necesario saber el nº de depósitos de humos en los que se va a dividir el sector de incendio estudiado.

Dichos parámetros son:

Longitud de la nave: $L = 66.24 \text{ m}$

Ancho de la nave: $W = 24.54 \text{ m}$

Altura máxima de la nave (en la pared bajo la cumbrera): $H_{max} = 10.78 \text{ m}$

Altura mínima de la nave (en la pared izquierda): $H_{min} = 9.32 \text{ m}$

Se ha decidido que toda la nave esté compuesta por dos depósitos de humos cada uno de ellos comprende un área de aproximadamente 900 m^2 . Con un largo de 37.7 m y ancho de 24.5 m .

Se obtiene con lo anterior que el área ocupada total de la nave es $A_{nave} = 1788.2 \text{ m}^2$.

Como se puede observar en la norma UNE 23585 concretamente en el apartado 6.6.2.6. se establece que el área máxima de un depósito de humos es de 2000 m^2 para el caso de aireación natural. Así también, en el apartado 6.6.2.8. se impone la restricción de un largo en el eje mayor de la nave de 60 m . Como se puede ver, la primera condición se cumple (el área de la nave es de 1788.2 m^2) pero la segunda no se cumple, puesto que el largo de la nave es de 75.32 m .

Debido a esto se ha decidido dividir la nave en dos depósitos de humos. La situación de cada uno de ellos en el plano de la nave se detalla en el plano adjunto

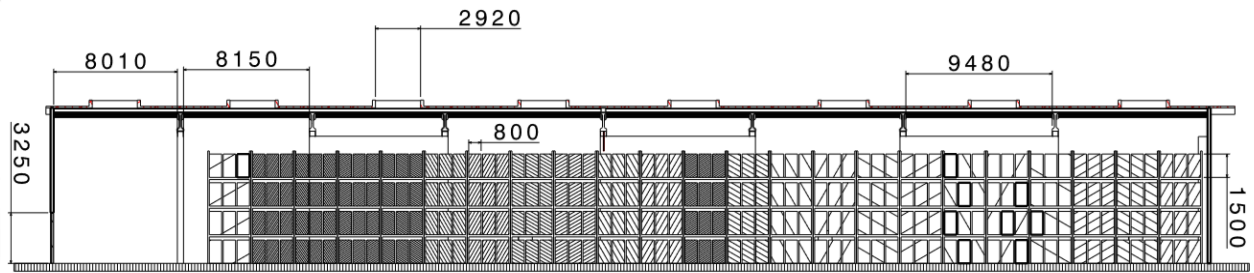


Ilustración 8. Sección vertical longitudinal con estanterías.

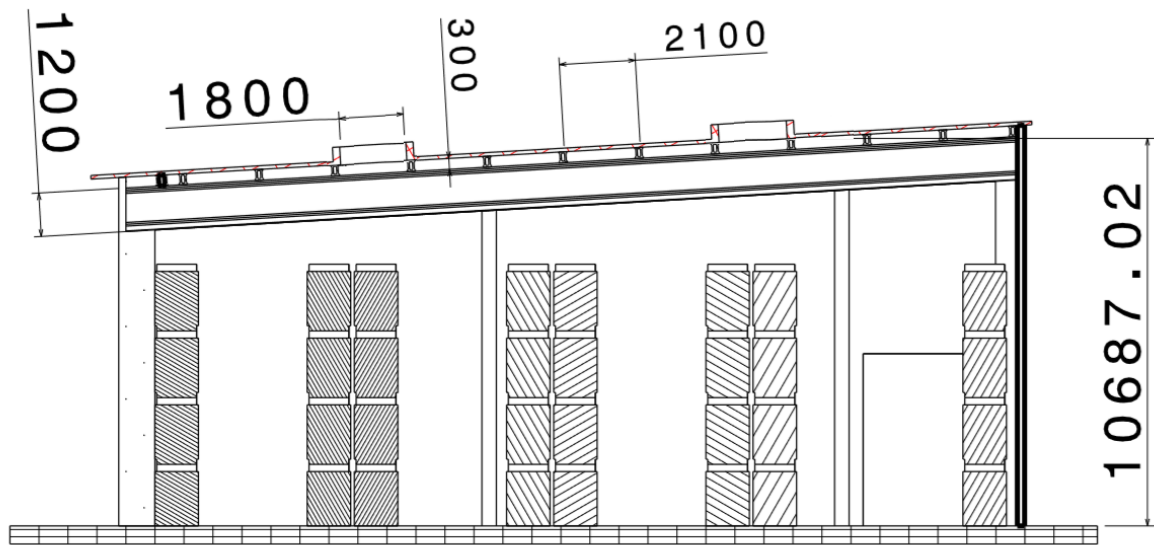
Section view B-B
Scale: 1:100

Ilustración 9. Sección Transversal con estanterías.

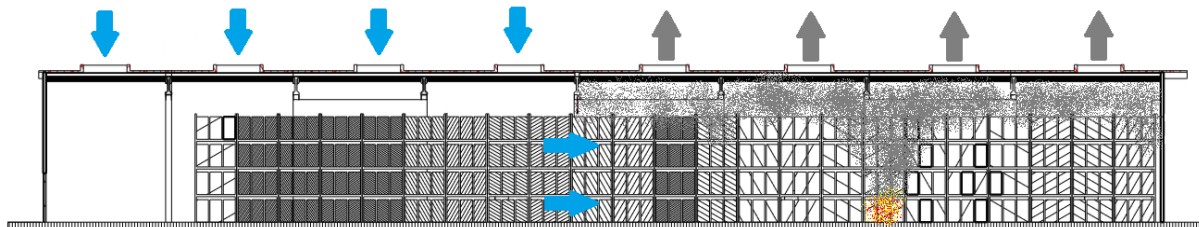


Ilustración 10. Funcionamiento de los dos depósitos de humos

3.3. Altura libre de humos (Y)

Se empieza a trabajar a partir de la suposición de una altura mínima de la capa de humos, es decir, se impone una altura libre de humos en función de las características de la nave de almacenamiento y su contenido.

La altura libre de humos está definida como la altura desde la base del incendio a la capa de humos y depende de varios factores.

Según el apartado 6.2.2. de la UNE 23585, la altura libre de humos mínima es de 2.5 m sobre el suelo para el caso de zonas de alta densidad de ocupación de personas, donde la evacuación es crítica.

Éste no es el caso, sin embargo, se deberá asegurar una altura libre de humos hasta 0.5 m por encima de la carga almacenada, lo que significa que la capa de humos deberá tener como cota mínima una altura de 7.5 m medida desde el nivel suelo de la nave. Se decide fijar esta altura como la altura mínima de humos.

Según la geometría de la nave, está provista de una estructura con vigas espaciadas entre ellas una distancia de 9 m aproximadamente. Cada viga tiene una sección de 1.2 m de ancho. Como la altura máxima del suelo a la cubierta es de 9.32 m en una fachada y de 10.78 m en la opuesta, la altura del punto más bajo de las vigas es de 8.12 m en una fachada y de 9.58 m en la opuesta. La altura mínima de la capa de humos es de 7.5m, por lo que las vigas no actúan como barreras ante el humo en el caso de altura libre de humos mínima.

Se va a aprovechar la viga perteneciente al pórtico 5 como parte de la barrera de separación entre los depósitos de humos que se pretenden generar en la nave. Para ello se realiza un cegado del espacio que permite el paso del humo entre el ala superior de la viga y la superficie inferior de la cubierta de la nave y se dotará de una cortina contra el fuego de tal forma que cuelgue hasta una altura inferior a 7.5 m. dicha cortina, que se ha decidido que cuelgue hasta una altura de 7 metros, junto con la viga de hormigón, de canto 1.2 metros, y los elementos cegadores comprenden la barrera ante el movimiento del humo entre los dos depósitos de humos.

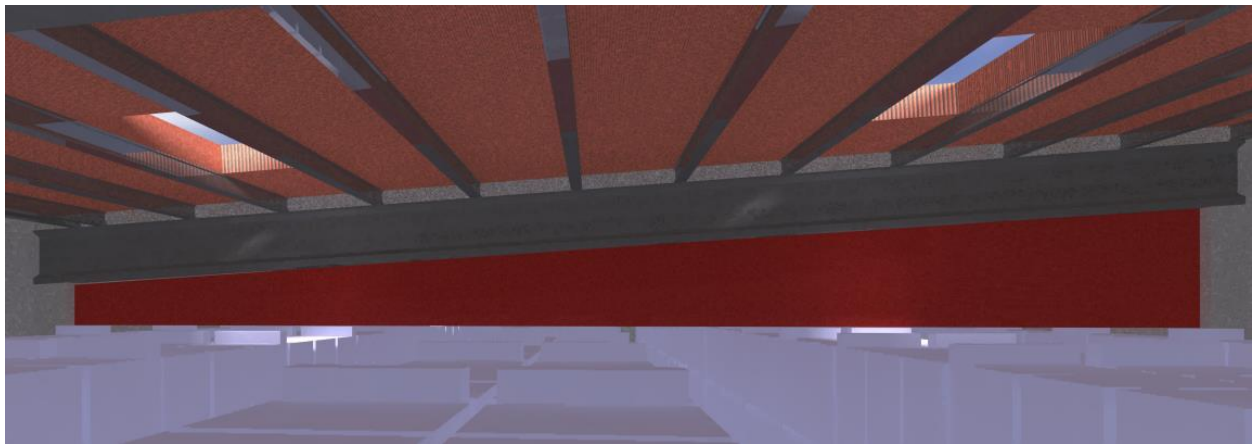


Ilustración 11. Vista en detalle de cortina de humos y sellado de huecos entre cerchas y cubierta.

Gracias a la presencia de un depósito de humos contiguo al otro se puede determinar que el aire de aporte necesario en el sector afectado por el incendio vendrá cedido por el otro sector, el cual a su vez toma aire del exterior a través de sus exutorios gracias al flujo natural generado por el movimiento del humo caliente que sale por los exutorios de su sector creando una baja presión en la nave.

Según UNE 23585:

“Cuando el incendio está directamente debajo del depósito de humos, la superficie máxima de cualquier depósito de humos debe ser de 2000 m² si se han adoptado aireadores naturales de extracción de humos o,

2600 m² si se adoptan aireadores mecánicos de extracción de humos”.

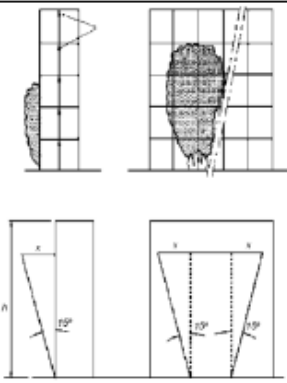
Se comprueba que el sector de incendios definido con anterioridad esté compuesto por dos depósitos de humos.

3.4. Modelo de incendio

En la UNE 23585 apartado 6.2.1. se imponen los requisitos.

Es de utilidad la tabla 2 para el cálculo del modelo de incendio. Recordando que se tienen rociadores de techo:

Tabla 2. Determinación de los parámetros del modelo de incendio

Edificio de almacenamiento en altura.			
Almacenamiento con productos en estanterías (w = anchura de la estantería) (h = altura de la estantería) (x = 2/3 · h · tangente 15° = 0,18·h) SILOS: (w = anchura de la estantería, para el cálculo, máximo 3 m) (Y = altura de libre de humo) (x = Y · tangente 15° = 0,27·Y) Y >= 2/3h			
	Área de incendio (A _f) m ²	Perímetro del incendio (P) m	Flujo de calor liberado (q _f) kW / m ²
- Rociadores de techo, independientemente de su tipología	4/3h (w + x)	2 (w + 4x)	q _f (bajo) = 250 q _f (alto) = 625
- Rociadores intermedios	2/3h (w + x)	w + 4x	
- Sin rociadores	81	36	q _f (bajo) = 250 q _f (alto) = 1 250

Siendo h = 6.5 m, w = 2.4 m, Y = 7.5 m y, entonces, x = 0.18 · 7 m:

- Área de incendio: $A_f = 34.16 \text{ m}^2$
- Perímetro del incendio: $P = 14.88 \text{ m}$
- Flujo de calor liberado: $q_f(\text{bajo}) = 250 \text{ kW/m}^2$; $q_f(\text{alto}) = 625 \text{ kW/m}^2$

Debiéndose tomar el valor $q_f(\text{bajo})$ para cuando se realice el calculo de A_v que es la superficie aerodinámica de descarga, y para comprobar que la temperatura de la capa de humos es al menos 20°C mayor que la temperatura del ambiente. El valor alto del flujo de calor liberado se usará para cálculos de dimensionamiento del aislamiento térmico según se explica en la norma UNE 23585 al final del apartado 6.1.2. “Requisitos”.

3.5. Cálculo de la superficie aerodinámica de evacuación de humos:

Se pueden consultar los cálculos realizados en el Anexo I.

Como resultado se obtiene que el área de salida de humos en cada uno de los depositos contenidos entre vigas es el siguiente:

$$A_V \cdot C_V \cong 6.045 \text{ m}^2$$

La separación libre entre viguetas de la cubierta es de 1.8 metros, por ello, la anchura máxima de los exutorios será de 1.8m.

Con los resultados de estos cálculos obtenidos, se puede llevar a cabo el diseño del sistema de exutorios, su ubicación y dimensiones.

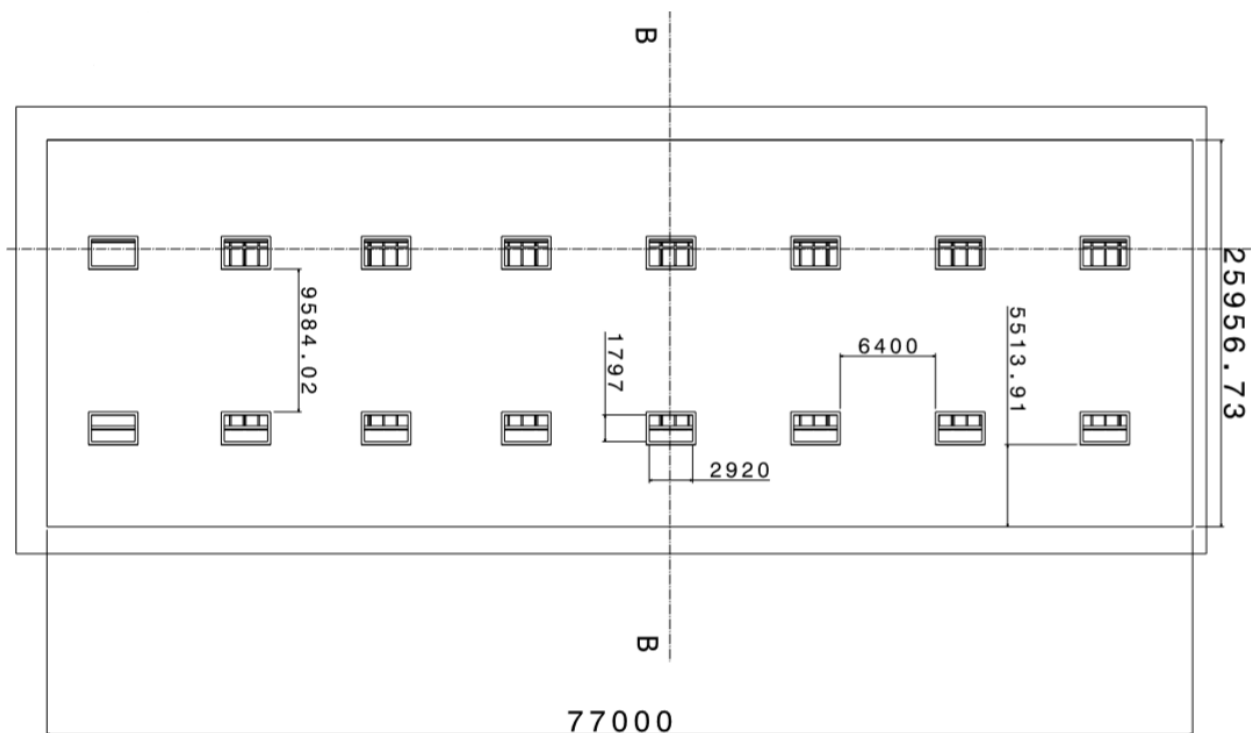


Ilustración 12. Ubicación de los exutorios.

3.6. Selección de los aireadores:

Para ello, se analizan a continuación las características que deberá cumplir el exutorio a instalar en la fábrica teniendo en cuenta la norma UNE 12101-2.

Ante distintas acciones externas, el aireador debe abrirse y quedar fijo (hasta que se devuelva a su posición inicial) en la posición abierta de incendio, que debe alcanzarse como máximo 60 segundos después de la señal de activación y sin que se produzca ningún daño.

El significado y los valores de los parámetros que define la norma UNE 12101-2 relativos a los aireadores son los que siguen:

Confiabilidad. El parámetro Re se refiere al número de veces en que el mecanismo de apertura se ha abierto y cerrado en vacío. El exutorio por instalar tendrá al menos un Re-1000.

Carga de nieve. El parámetro SL se refiere a la carga de nieve expresada en pascales aplicada sobre el aireador que éste es capaz de soportar. Para el exutorio a instalar en el área estudiada, éste cumplirá como mínimo con SL 250.

Baja temperatura ambiente. El parámetro T (-25) se refiere al número de grados centígrados (°C) bajo cero a los que el aireador ha sido sometido a ensayo. El exutorio por instalar cumplirá al menos con T (-25).

Carga de viento. El parámetro WL se refiere a la carga de aspiración del viento, expresada en pascales, aplicada en ensayos llevados a cabo sobre el exutorio. Para el exutorio a instalar en el área estudiada, éste cumplirá como mínimo con WL 1500.

Resistencia al calor. El parámetro B se refiere a la temperatura (en °C) a la que el aireador es sometido a ensayo. En el caso del exutorio a instalar, éste cumplirá con B300 como mínimo.

Teniendo en cuenta las especificaciones anteriores, se decide utilizar el modelo 180-13 del exutorio tipo EURA, cuya descripción es:

“Un aireador de lamas practicables destinado principalmente a garantizar la evacuación de grandes volúmenes de humo y aire caliente de manera natural. Sus diferentes pestañas de adaptación le permiten instalarse indistintamente en fachadas sobre cualquier tipo de cerramiento vertical, como en cubiertas de cualquier tipo y composición. El Eura está certificado como un elemento único de seguridad anticaídas desde cubierta y está disponible en distintos tipos de lamas y materiales translucidos que le permiten complementar el aporte de luz natural. Este exutorio de lamas funciona como un eficaz sistema de evacuación de humos destacando además por su favorable relación calidad/precio/rendimiento”.

Sus campos de aplicación: naves industriales, centros comerciales, integración en lucernarios. Por lo tanto, es ideal para el caso estudiado.

En cuanto al material que lo conforma es Aluminio duro, AlMg₃, resistente al agua de mar y anticorrosivo. Con casquillos de Nylon. Accionamientos neumáticos y eléctricos.

El Eura igualmente puede ser equipado con bastidores aislados térmicamente y con mallas anti pájaros.

Recordando que entre cada una de las vigas que sustentan la cubierta se crea un volumen que podemos considerar como una subdeposición. En la nave, hay un total de 8 subdepósitos, cuatro por depósitos de humos. Estos llamados subdepósitos, no son completamente estancos ya que el paso del aire, y del humo en el caso de estudio, es posible a través de los huecos que hay entre las cerchas y la cubierta y bajo la viga puesto que el canto de esta es de 1.2 metros y, por lo tanto, el humo puede fluir por debajo sin necesidad de traspasar la frontera impuesta por la altura mínima de humos.

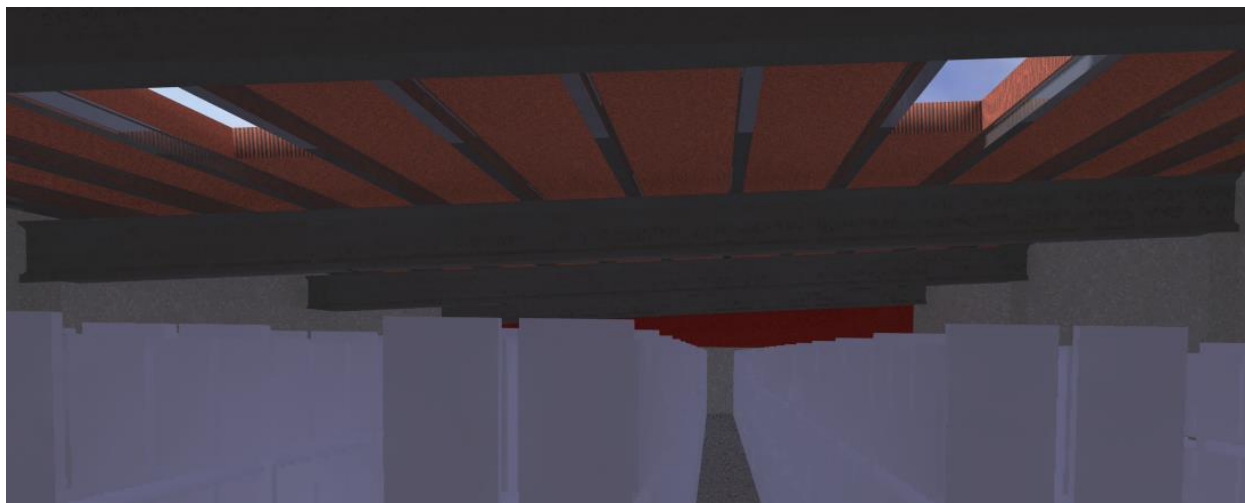


Ilustración 13. Subdepósito con sus dos exutorios.

Se pretende disponer de 2 exutorios por subdepósito, lo que quiere decir que se necesita un área aerodinámica de 3.0225 m² por exutorios.

Tomando la anchura máxima de 1.8m antes comentada, se ha de determinar el área de salida geométrica equivalente según el exutorio escogido. Para ello, se usará un catálogo de exutorios genéricos disponibles en el mercado.

En lo que respecta a las dimensiones se reflejan en las siguientes tablas y planos de detalle:

Tabla 3. Superficie aerodinámica según el tipo de exutorio.

Tipo		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
030	LB/GHB	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53
	HB	0,16	0,20	0,24	0,29	0,33	0,38	0,42	0,47	0,51	0,56	0,60
060	LB/GHB	0,26	0,34	0,42	0,50	0,58	0,66	0,73	0,81	0,89	0,97	1,05
	HB	0,29	0,38	0,46	0,55	0,63	0,71	0,80	0,90	0,98	1,05	1,14
120	LB/GHB	0,52	0,68	0,84	0,99	1,15	1,31	1,47	1,65	1,82	1,94	2,10
	HB	0,57	0,73	0,89	1,06	1,22	1,38	1,57	1,74	1,91	2,04	2,20
180	LB/GHB	0,78	1,02	1,25	1,49	1,73	1,97	2,24	2,48	2,72	2,92	3,15
	HB	0,84	1,08	1,32	1,57	1,84	2,09	2,33	2,58	2,83	3,02	3,27
240	LB/GHB	1,04	1,35	1,67	1,99	2,34	2,66	2,99	3,31	3,63	3,89	4,20
	HB	1,11	1,43	1,76	2,08	2,44	2,77	3,10	3,42	3,75	4,01	4,33

Sabiendo que el ancho máximo del exutorio ha de ser 1.8m se determina que, para asegurar una superficie aerodinámica suficiente, se debe disponer del exutorio tipo 180-13. Dicho dispositivo, según se puede ver en la tabla 2, garantiza una superficie aerodinámica de 3.15 m² para el caso de tipo LB/GHB.

Según la tabla 3, dicho exutorio tiene unas dimensiones de 1.8 metros de ancho por 2.92 metros de largo. Estas dimensiones permiten la implementación de dichos exutorios en la nave estudiada. Se colocarán centradas con respecto a las vigas de la nave y repartidas como se muestra en la siguiente ilustración.

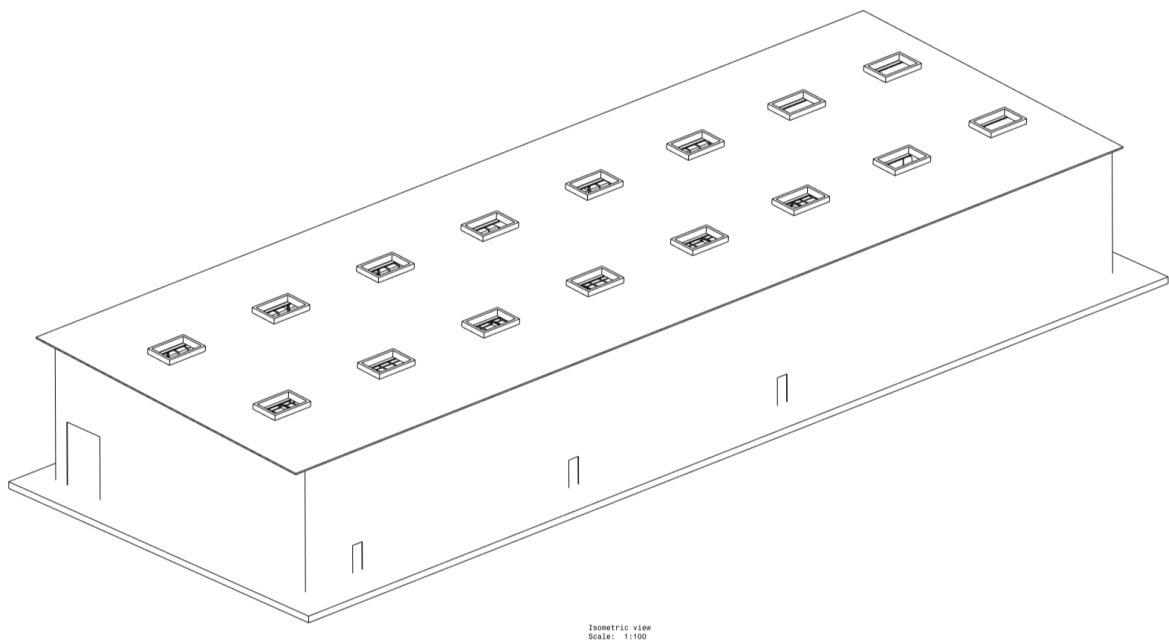


Ilustración 14. Vista de los exutorios en isométrica.

Tabla 4. Dimensiones del exutorio según el tipo.

Tipo		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
LB*/GHB	Ancho (mm)											
030	300											
060	600											
120	1200	720	940	1160	1380	1600	1820	2040	2260	2480	2700	2920
180	1800											
240	2400											
HB	Ancho (mm)											
030	340											
060	640											
120	1240	760	980	1200	1420	1640	1860	2080	2300	2520	2740	2960
180	1840											
240	2440											

Tomando los valores dados en la tabla 4, se llega a la conclusión de que el peso de cada exutorio será de 96 kg, lo cual no planteará ningún tipo de problema a nivel estructural puesto que apoyará en las viguetas que lo rodean. Dichas viguetas pueden aguantar este peso añadido.

Tabla 5. Peso por exutorio en función del tipo.

Tipo	Número de lamas														
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
030	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
060	19	23	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
120	28	33	38	42	47	51	56	60	65	69	74	78	82	86	90
180	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120
240	45	52	59	66	73	80	87	94	101	108	115	122	129	136	143

En las ilustraciones 16 y 17 pueden apreciarse las dimensiones de los exutorios y su sección.

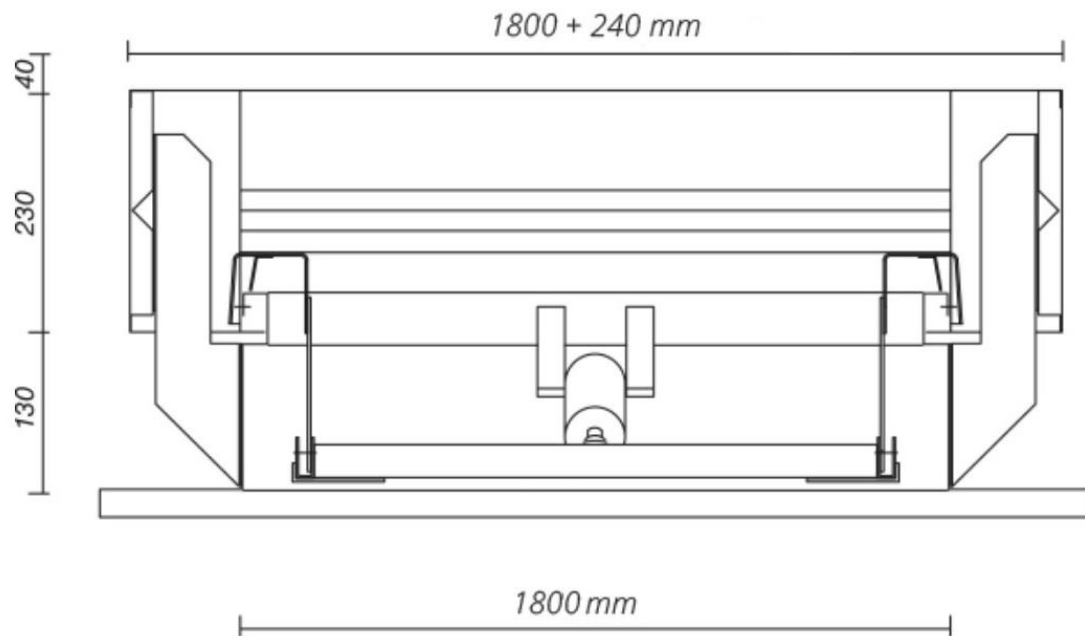


Ilustración 15. Sección longitudinal

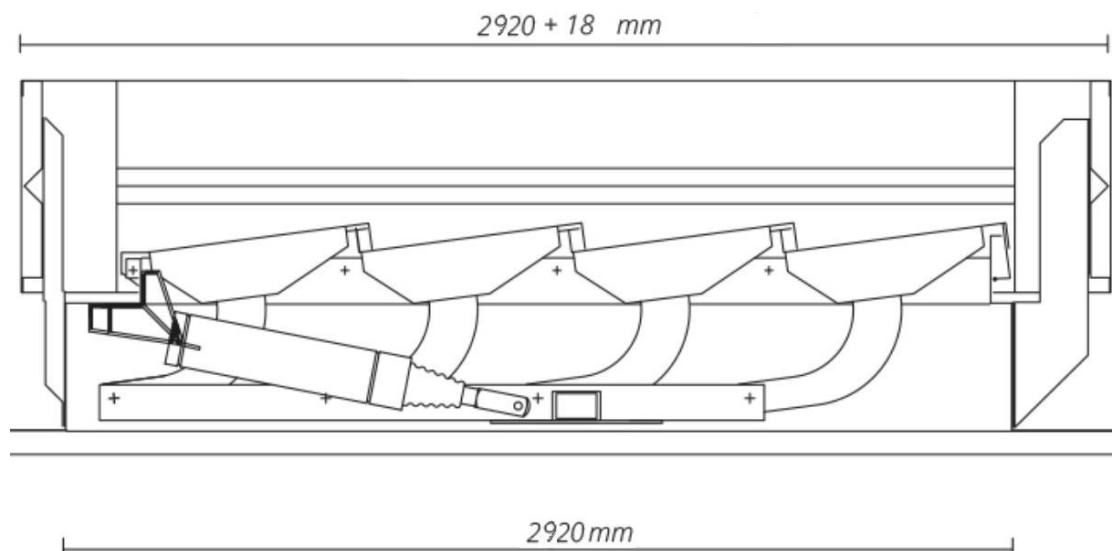


Ilustración 16. Sección transversal

3.7. Selección de las cortinas de humos:

Otra de las partes fundamentales de un SCTEH son las cortinas de humos. A continuación, se analizan, como se ha hecho con el exutorio, las características que deberá cumplir la cortina de humos a instalar según la norma UNE 12101-1. Además, dicha cortina de humos se elegirá de forma que se mantenga la altura libre de humos deseada.

Clasificación de temperatura/tiempo

Las barreras de humos deben clasificarse de acuerdo con las categorías de clasificación de la tabla 10.

Tabla 6. Categorías de clasificación temperatura /tiempo normalizadas.

Clasificación	Temperatura(°C)	Tiempo (min)
D 30	600	30
D 60	600	60
D 90	600	90
D 120	600	120
DA	600	Tiempo real alcanzado por encima de 120

La exposición al calor a 600 °C designada como D, representa la temperatura constante del ensayo de la barrera de humos. Las designaciones 30, 60, 90 y 120 representan el periodo del ensayo de la barrera de humos. En el caso de la barrera de humos para el área de producción ésta tendrá clasificación DA que indica que, en el ensayo llevado a cabo sobre la misma, aguantó más de 120 minutos una temperatura de 600 °C.

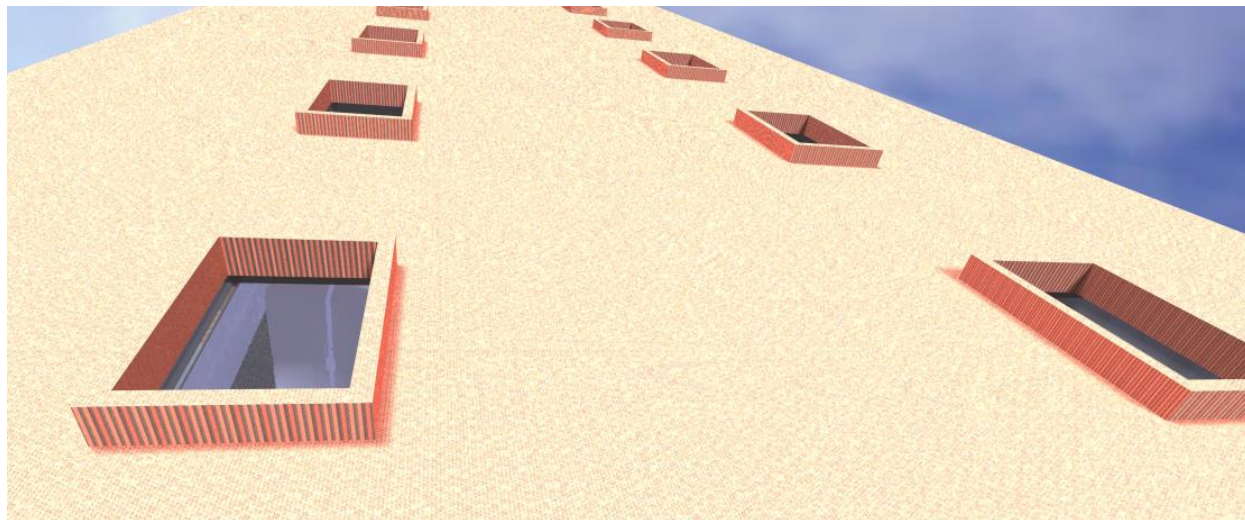


Ilustración 17. Simulación del exterior de la nave.

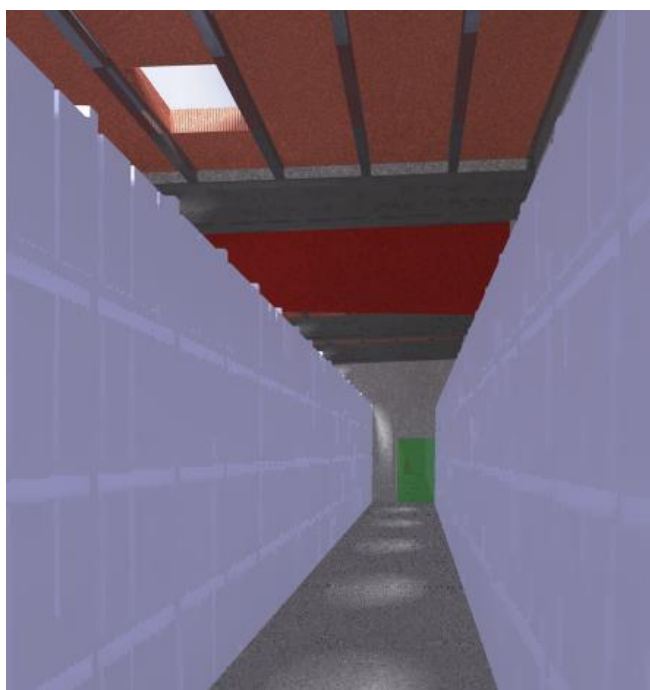


Ilustración 18. Vista general del interior de la nave.

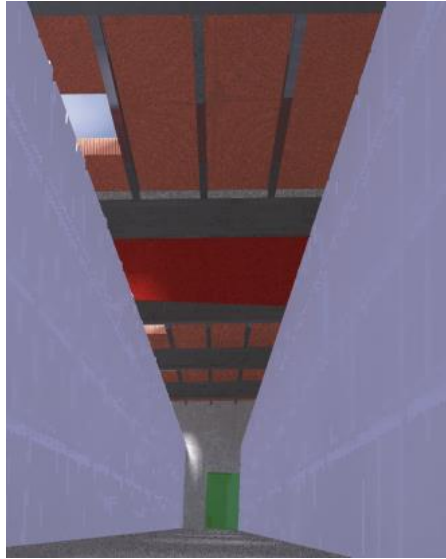


Ilustración 19. Vista del interior de la nave desde altura de visión de 1.8 metros.

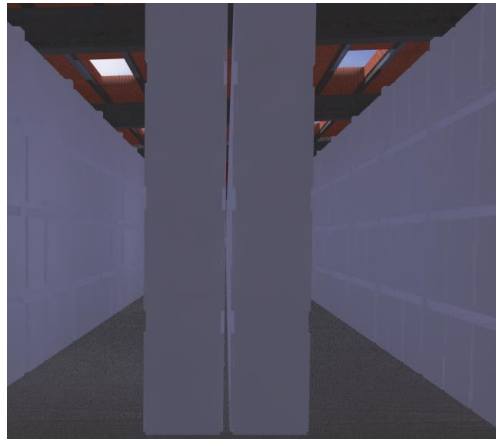


Ilustración 20. Vista desde la zona del muelle de carga y descarga.

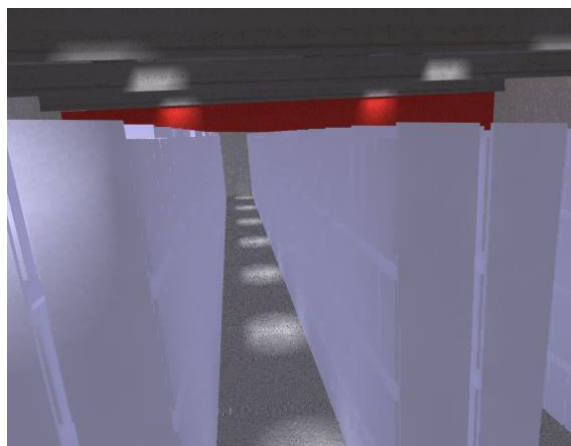


Ilustración 21. Vista interior con exutorios instalados.

4. SIMULACIONES CON FDS

Previamente a las simulaciones realizadas con el caso de estudio, hubo que aprender a manejar y programar el software FDS. El estudio de FDS se llevo a cabo gracias a la guía de usuario de este software¹ y que se encuentra explicada en el Anexo II de esta memoria. En paralelo a este aprendizaje teórico se ha ido comprobando y comprendiendo los conceptos gracias a los ejemplos que FDS facilita.

En concreto, se han utilizado principalmente los ejemplos que tenían mayor similitud con el caso de estudio. Por ejemplo, el modelo de incendio utilizado es el modelo simple, entonces, tras aprender cuales son los parámetros que requiere dicho modelo, sus salidas, sus ventajas e inconvenientes, se ha pasado a simular con un par de ejemplos facilitados por FDS (que representaban pequeños incendios generados mediante este modelo simplificado); tras entender el modelo simple de incendio se ha podido generar el código que simulase el incendio en el caso de estudio.

En resumen, se ha utilizado la guía de usuario para aprender los conceptos de forma teórica y los ejemplos han servido para poder aplicar de forma práctica lo aprendido anteriormente para posteriormente ser capaz de programar los escenarios deseados.

Este apartado se centra en comentar cómo se han estudiado, obtenido e introducido los parámetros necesarios pedidos por el programa, así como la influencia de los distintos parámetros de entrada en los resultados obtenidos y la sensibilidad del modelo a los diferentes parámetros y variables.

4.1. Código general:

El camino seguido para la simulación de los escenarios se basa en un modelo general, que se describe a continuación, que derivará en 4 escenarios diferentes en los cuales se observan distintas situaciones que se han pensado son significativas, realistas y, por lo tanto, dignas de estudio.

Para una mejor comprensión de las simulaciones realizadas se ha decidido explicar el proceso de escritura del código de FDS a continuación. Los apartados de dicho código en los cuales se reflejan las diferencias entre los distintos escenarios serán explicados posteriormente en los puntos de esta memoria denominados como ESCENARIO 1, ESCENARIO 2, ESCENARIO 3 y ESCENARIO 4.

Las diferencias entre dichos escenarios radican en la presencia o no de rociadores en la nave estudiada y en el valor de la generación de calor característica del incendio (en un caso será de 250 kW/m² y en otro de 1250 kW/m²). Por último, se estudian dos casos, el primero de ellos es idéntico al escenario 3 pero con una variación en el valor del factor de conversión del humo (SOOT_YIELD) y en el factor de conversión de CO (CO_YIELD), que será denominado como escenario 5; mientras que el segundo es también idéntico al escenario 3 pero con la variación de las condiciones ambientales (temperatura del ambiente y humedad).

El camino seguido para la escritura del código es el recomendado en la guía de usuario, que aconseja que al iniciar una nueva simulación se parta de un archivo de entrada que se asemeje al caso. Dichos archivos de entrada se encuentran en la carpeta de archivos de ejemplos que vienen adjuntos al programa FDS cuando se realiza la

¹ Y con el apoyo de los blogs de internet en los que los usuarios del software exponen y solucionan sus dudas y cuestiones relacionadas con el programa FDS.

descarga. La idea es tomar dichos archivos de ejemplo, aprender su funcionamiento e ir modificando el código para que se adecue cada vez mejor al caso estudiado. Es mejor comenzar por un archivo relativamente simple que capture las características principales del problema sin atarse a demasiados detalles que podrían enmascarar un fallo fundamental en el cálculo. Los cálculos iniciales deben hacerse con una malla gruesa, de modo que los tiempos de ejecución sean inferiores a una hora y las correcciones puedan realizarse fácilmente sin perder demasiado tiempo. A medida que se ha ido aprendiendo a escribir archivos de entrada, se ha ido ejecutando, resolviendo, modificando y volviendo a resolver el caso de estudio a medida que se va agregando complejidad al modelo.

Una vez explicado todo esto, se pasa a la explicación del código general:

FDS requiere un inicio de archivo de entrada en el cual se especifique el **título** que se le va a dar a la simulación y una breve descripción opcional sobre ella. Para ello se introducen las líneas:

```
&HEAD CHID='GEOM_PRUEBA', TITLE='simulación definitiva de FDS para el escenario I'
```

Tras esto, es necesario definir el **dominio computacional**, es decir, el volumen en el cual se va a llevar a cabo la simulación. Dicho dominio deberá contener al volumen donde se va a desarrollar el incendio y a su entorno afectado; por ello, se decide incluir dentro del dominio computacional a todo el almacén, además, se ha ampliado el dominio computacional un par de metros por cada una de las fachadas y la cubierta de la nave, para así no crear conflictos en las zonas de salida de humos y entradas de aire².

Así mismo, se ha de definir la **resolución** de dicho dominio, esto es, el número de celdas que componen dicho dominio computacional y en las cuales se han de calcular todos y cada uno de los parámetros estudiados en cada uno de los instantes de tiempo que van a ser definidos. Para un dominio computacional de 80x30x15, tomando la fórmula propuesta en la guía de usuario de FDS, una buena resolución de malla sería la que cumpliera una buena relación entre el diámetro de fuego característico y el tamaño nominal de la celda. Siendo el diámetro nominal característico del fuego el siguiente:

$$D^* = \left[\frac{Q}{\rho_\infty \cdot c_p \cdot T_\infty \cdot \sqrt{g}} \right]^{\frac{2}{5}} \cong 6m$$

Y el **tamaño nominal de celda** es de 0.5 m, lo cual indica que la relación es de 12. Dicho valor de la relación es muy bueno según se indica en la Guía de validación de FDS. La cual recomiendo que dicho valor sea mayor a 4 y considera un valor de entre 10 y 15 como óptimo.

```
&MESH IJK=160.,60.,30., XB=0.0,80.,0.0,30.,0.0,15/
```

El siguiente parámetro a introducir en FDS es el **tiempo de simulación**. En el caso de querer definir la geometría y el dominio computacional y comprobar que está todo bien, se toma un tiempo de simulación de 0 segundos, gracias a esto FDS se ejecutará rápidamente y se podrá comprobar de manera ágil si la definición de la geometría y la malla es correcta.

El tiempo de simulación va a depender principalmente del tiempo de desarrollo del incendio, en el caso que se estudia, el tiempo de desarrollo del incendio es relativamente corto puesto que únicamente se contempla una rampa de crecimiento del HRR hasta su valor máximo, a partir del cual, tras un determinado tiempo, se obtendrá un estado estacionario del incendio. En el caso de simular utilizando el modelo de pirólisis³, se debería saber que el tiempo de desarrollo del incendio es mucho mayor puesto que no llegaría a un estado estacionario tan rápidamente como en el modelo simplificado que se usa en este caso.

En el caso de la simulación de los escenarios previstos, se ha decidido tomar un tiempo de 600 segundos, ya que es el tiempo en el que se observa el desarrollo del incendio y se pueden obtener los parámetros de forma bastante realista. También se ha definido el paso de la simulación, es decir, el intervalo de tiempo entre los cuales va tomando los valores de la simulación en cada uno de los puntos de la malla. El paso de la simulación es un valor

² Los conflictos se pueden crear en las zonas de salida de humos o entrada de aire en el dominio, por ello, se recomienda que dichas zonas no coincidan con las áreas de salida y entrada de flujo de partículas en el entorno del incendio (en el caso de estudio serían los exutorios).

³ En el modelo de pirólisis, el desarrollo del incendio se calcula automáticamente por el programa. Es decir, FDS, conociendo las propiedades de los materiales de la envolvente y habiendo dado el inicio del incendio (chispa inicial), mediante las ecuaciones relacionadas con la pirólisis simula el desarrollo del incendio.

que afectará bastante al tiempo de cálculo del programa, puesto que determina cada cuanto tiempo se han de calcular todos los parámetros en todos los puntos de la malla.

&TIME T_END=600, DT=0.6/

Otros de los parámetros a definir son los recogidos en la namelist MISC, es decir, aquellos parámetros que se pueden considerar como **misceláneos** o, lo que es lo mismo, los parámetros que no pueden ser agrupados de forma lógica en ninguna otra namelist. Los parámetros relacionados con el ambiente que se han decidido tomar son los más críticos para el desarrollo del incendio.

&MISC TMPA=45., HUMIDITY=50., P_INF=101440. /

Una vez definidas todas las variables iniciales, se pasa a la **definición del fuego**. Se ha de señalar que el modelo de incendio tomado es el calculado gracias a la norma EN 23585 en el apartado 6.2.1., podemos encontrar dicho cálculo en el apartado 3.4. de esta memoria.

FDS es un software cuya potencia se basa en la simulación real del comportamiento de un fuego, desde su inicio en un punto infinitesimal, pasando por su crecimiento y expansión por los distintos materiales de la envolvente y llegando hasta su extinción (que puede ser debida a causas externas, como es el caso de la actuación de las instalaciones y los servicios de extinción; o debida a causas internas, agotamiento del combustible.). Al introducir el modelo de incendio en FDS se ha usado el método simple de modelado del fuego, para el uso del modelo complejo de incendio es necesario un conocimiento muy avanzado tanto del software como del incendio en si y los parámetros relacionados con él.

El modelo ideal para realizar una simulación realista es el modelo basado en la pirólisis, dicho modelo es un modelo complejo de programar en FDS, en este trabajo no se entra a estudiar dicho modelo. Una de las posibles líneas de continuación de este trabajo se basa en el estudio del modelado del incendio mediante el modelo de pirólisis, en el cual, el incendio se inicia debido a una chispa puntual e infinitesimal en un punto determinado y pasa a evolucionar siguiendo el modelo de supresión de FDS y el incendio se extiende mediante la pirólisis de los materiales.

Como limitación principal, en el modelo simple se impone que el incendio venga definido como una superficie (circular en el caso de estudio) a través de la cual pasa un flujo de calor generado por unidad de área cuyo valor es función del tiempo. Esto es un inconveniente, puesto que la acción de los rociadores (en los escenarios que cuenten con ellos) sólo afectará al incendio provocando una disminución del calor y una alteración del flujo de humos y aire caliente al ser introducirse en el dominio computacional las gotas liberadas por estos dispositivos, es decir, no poseen la capacidad de extinción del fuego en la simulación realizada.

En el apartado 3.4. de esta memoria se genera un modelo de incendio con un área de 34.16 m² y un perímetro de 14.88 m, lo que es equivalente a una circunferencia de radio 3 m. El incendio se ha colocado en un punto con coordenada y = 20, coordenada z = 0 y coordenada x indiferente, debido a la forma de la geometría de la nave.

En FDS se permite trabajar con variables dependientes e independientes, de tal forma que el usuario tiene la posibilidad de crear funciones de una variable independiente y una variable dependiente (RAMP) o funciones de varias variables independientes y varias variables dependientes (TABL).

Hay tres parámetros de FDS que generan funciones de una variable independiente y una dependiente; una de ellas es TAU_Q que indica el momento (en segundos) en el cual el HRRPUA llega a su valor impuesto por el usuario. Antes de dicho instante, el HRRPUA será una función creciente de tipo parabólico en el caso que TAU_Q dado sea un valor negativo y una función de tangente hiperbólica en caso de ser positivo.

El cálculo del valor de TAU_Q (tanto para el caso de 250 kW/m² como para el caso de 1250 kW/m²) se explica en cada uno de los escenarios explicados más adelante.

Las líneas de código referentes al incendio son las siguientes:

&SURF ID='fire', HRRPUA= (250 ó 1250)., TAU_Q=-(según se obtenga en función del HRRPUA)/

&VENT XB=67.,73.,17.,23.,0.0,0.0, XYZ=70.,20.,0., RADIUS=3., COLOR='RED', SPREAD_RATE=0.05, TRANSPARENCY=0.8, SURF_ID='fire'/

FDS También necesita como entrada la **composición química** del combustible que se va a quemar. En el caso de estudio se contará con los siguientes posibles combustibles:

- Propileno. Componente principal del plástico filme que recubre los palés de mercancía almacenados en las estanterías. Su composición química es C_3H_6
- Celulosa que es el principal componente combustible del cartón y la madera. Su composición química es $C_6H_{10}O_5$.
- Alcohol etílico. Las bebidas alcohólicas almacenadas son de un porcentaje del 40% de alcohol en volumen. Su composición química es C_2H_6O .

Conocer el combustible es muy importante puesto que, en función del combustible, los productos de combustión serán de un tipo o de otro. Concretamente, afectará de forma importante a la evaluación de la toxicidad en el entorno del incendio. La toxicidad se evalúa según la presencia de CO.

Otros parámetros pedidos por FDS son la **fracción de conversión de combustible** a humo y a CO en la combustión, en la tabla 3 podemos encontrarlas.

Tabla 7. Conversión de combustible en humo

Table 2-13.1 Smoke Production for Wood and Plastics

Type	Smoke Conversion Factor, ϵ	Combustion Conditions	Fuel Area, m^2	Reference
Douglas fir	0.03–0.17	Pyrolysis	0.005	1
Douglas fir	< 0.01–0.025	Flaming	0.005	1
Hardboard	0.0004–0.001	Flaming ^a	0.0005	2
Fiberboard	0.005–0.01	Flaming ^a	0.0005	2
Polyvinylchloride	0.03–0.12	Pyrolysis	0.005	3
Polyvinylchloride	0.12	Flaming	0.005	1
Polyurethane (flexible)	0.07–0.15	Pyrolysis	0.005	3
Polyurethane (flexible)	< 0.01–0.035	Flaming	0.005	1
Polyurethane (rigid)	0.06–0.19	Pyrolysis	0.005	1
Polyurethane (rigid)	0.09	Flaming	0.005	1
Polystyrene	0.17 ($m_{O_2} = 0.30$) ^b	Flaming	0.0005	4
Polystyrene	0.15 ($m_{O_2} = 0.23$)	Flaming	0.07	5
Polypropylene	0.12	Pyrolysis	0.005	1
Polypropylene	0.016	Flaming	0.005	1
Polypropylene	0.08 ($m_{O_2} = 0.23$)	Flaming	0.007	5
Polypropylene	0.10 ($m_{O_2} = 0.23$)	Flaming	0.07	5
Polymethylmethacrylate	0.02 ($m_{O_2} = 0.23$)	Flaming	0.07	5
Polyoxymethylene	~0	Flaming	0.007	5
Cellulosic insulation	0.01–0.12	Smoldering	0.02	6

^aSample smoldered for a period of time after the pilot flame was extinguished.
^b m_{O_2} refers to mol fraction of O_2 .

En cuanto al número de reacciones químicas que pueden introducirse en la simulación, se sabe que el modelo que usa FDS para la evolución y estudio del comportamiento del fuego es el modelo denominado como modelo de supresión, dicho modelo solo admite una reacción química.

Para conseguir que FDS simule con más de una reacción se deberá indicar en el código que el modelo de supresión⁴ es .FALSE., es decir, quitar el modelo de extinción⁵ usado por FDS. Sin embargo, FDS necesita un modelo de extinción para funcionar, por ello, habrá que indicarle un modelo alternativo de extinción.

El modelo de extinción permite a FDS determinar si en una "celdilla" del dominio estudiado es viable o no la combustión, esto se calcula en función de las condiciones que se den en dicha "celdilla": presencia de oxígeno, calor, especies y compuestos presentes en dicha celdilla...

La creación de un modelo de supresión es bastante difícil, primero por lo engorroso de la programación con

⁴ Es el modelo de extinción que FDS utiliza por defecto, actualmente, es el único modelo que FDS tiene implantado.

⁵ El modelo de extinción es un conjunto de ecuaciones y leyes del comportamiento térmico y químico, así como del movimiento de las partículas del aire (contaminado o limpio), que utiliza FDS para determinar si una unidad de volumen del dominio estará ardiendo o no en un determinado momento de la simulación.

código de FDS y segundo por la complejidad de determinar un modelo que sea realista. De hecho, en los foros de Google que se han consultado sobre este tema, los programadores de FDS comentan la complejidad de estos modelos y recomiendan usar el modelo de 'Supresión' siempre que se pueda debido a que otros modelos es muy difícil que sean precisos y realistas.

Debido a lo expuesto en los párrafos anteriores, se ha de definir una reacción química que sea lo más parecida posible a la realidad. Para ello, tras contemplar las distintas opciones posibles, se decide, tanto por simplicidad de formulación como de código, utilizar la reacción química siguiente:



Compuesta por el propileno, la el alcohol etílico y la celulosa más las impurezas que estos tengan como reactivos y dando como productos CO₂ y agua más las impurezas que provienen de los reactivos o de las reacciones de combustión no completas en las cuales se genera el CO.

El CO es un producto de las reacciones de combustión que no se han podido completar de forma ideal, por culpa de la falta de oxígeno o de la carencia de algún reactivo. Dicho compuesto debe tenerse en cuenta ya que es toxico y su inhalación puede ser letal. Los valores de CO límites se comentan más adelante.

Tanto para simular con la presencia de CO como con la presencia de humo en FDS, es necesario (en el modelo de incendio simple, ya que en el de pirólisis no lo será) dar los valores de las fracciones de conversión de los reactivos a CO y a humo. Básicamente dichas fracciones lo que imponen es qué porcentaje de los productos de la reacción serán humo y qué porcentaje será CO. De esta forma, lo que se pretende es simular una reacción de combustión lo más cercana a la realidad, siendo siempre conscientes de que la precisión de dicha simulación estará siempre condicionada por la precisión en la obtención de los parámetros que son facilitados al programa. Con esto se quiere hacer ver que los resultados obtenidos serán verídicos y realistas siempre que los parámetros introducidos en FDS lo sean. Se puede llegar a la conclusión, de forma particular para este caso y de forma general en todas las simulaciones, de que el modelo de incendio basado en la pirólisis es mucho más exacto puesto que garantiza que el desarrollo del incendio seguirá un comportamiento lo más realista posible. Mientras que, si se simula con otro modelo de incendio, se estarán imponiendo una serie de comportamientos que no serán cercanos a la realidad.

La reacción química antes expuesta se traduce a código FDS quedando de la siguiente manera:

```
&REAC ID='COMBUSTION', FYI='PROPYLENE+CELLULOSIC+EHILIC ALCOHOL, C_11 H_22 O_6',  
C=11., H=22., O = 6., CO_YIELD=0.12, SOOT_YIELD=0.015 /
```

En la situación en la que se quiere estudiar la influencia de las fracciones de conversión de humo y de CO, los valores de estas fracciones pasarán a ser los valores menores de los distintos combustibles que van a reaccionar.

Los siguientes parámetros por definir serán los que reflejan las características de la **envolvente del escenario** donde se desarrollará el incendio. Estos parámetros son importantes a la hora de realizar los cálculos del flujo de calor dentro del dominio computacional. Para ello se seguirá la descripción constructiva del edificio.

- Las 7 vigas de 1.2 m de ancho y un espesor de 40 cm que soportan la cubierta sobre sí son de hormigón armado con una densidad de 1800 kg/m³. Por lo tanto, el valor de su conductividad térmica es de 1.12 W/(m·K) y el calor específico tiene un valor de 1000 J/(kg·K)
- Las paredes del edificio están compuestas por un panel sándwich de hormigón con aligeramiento. Equivale a una capa de hormigón de 20 cm de espesor de las mismas características que el definido para las vigas.
- La cubierta posee una densidad de 40 kg/m³, con un espesor medio de 10 cm, su conductividad térmica es de 0.55 W/(m·K) y un calor específico de 0.84 kJ/(kg·K).
- Las puertas y portones de la nave tienen un espesor de 4 cm, con una densidad de 305 kg/m³, una conductividad de 0.53 W/(m·K) y un calor específico de 0.88 kJ/(kg·K).

- Las estanterías ocupadas por la mercancía también influyen en el flujo de calor dentro del edificio. Para poder modelarlo de la forma más realista, se han tomado valores ponderados de sus componentes en función de la cantidad de ellos que haya. Por lo que los valores pedidos por FDS quedan tal y como se refleja en el código siguiente.

Las líneas de código que establecen las características de la envolvente son:

```
&MATL ID='CONCRETE', CONDUCTIVITY=1.12, SPECIFIC_HEAT=1., DENSITY=1800/
&SURF ID='CONCRETE VIGAS', MATL_ID='CONCRETE', COLOR='GRAY', BACKING='EXPOSED',
THICKNESS=0.4/ define que el lado opuesto de la surf está expuesto al ambiente y tiene un grosor de 20cm
&SURF ID='CONCRETE WALL', MATL_ID='CONCRETE', COLOR='GRAY', BACKING='EXPOSED',
THICKNESS=0.2/
&MATL ID='CUBIERTA', CONDUCTIVITY=0.55, SPECIFIC_HEAT=0.84, DENSITY=40/
&SURF ID='CUBIERTA1', MATL_ID='CUBIERTA', COLOR='RED', BACKING='EXPOSED',
THICKNESS=0.1/
&MATL ID='PUERTAS METALICAS', CONDUCTIVITY=0.53, SPECIFIC_HEAT=0.88, DENSITY=305/
&SURF ID='PUERTAS', MATL_ID='PUERTAS METALICAS', COLOR='ORANGE RED',
BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.04/
&MATL ID='VIDRIO', CONDUCTIVITY=1, SPECIFIC_HEAT=0.78, DENSITY=2500/
&SURF ID='VIDRIO EXUTORIO', MATL_ID='VIDRIO', COLOR='BLUE', TRANSPARENCY=0.5,
BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.04/
**Estantes y cajas. Hay q meterle varias capas: cartón, vidrio, alcohol.
&MATL ID='CAJAS', CONDUCTIVITY=0.69, SPECIFIC_HEAT=0.84, DENSITY=2000/ se han tomado los
valores de los ladrillos dados en ejemplos de FDS
&SURF ID='CAJAS DE MERCANCIA', MATL_ID='CAJAS', COLOR='MAROON', BACKING='EXPOSED',
THICKNESS=0.5/
```

Mediante el uso de la namelist VENT, se va a imponer seguidamente que FDS ‘abra’ el dominio computacional, es decir, que considere que, más allá de los límites del dominio computacional, los parámetros y las variables físicas del modelo son las ambientales. Por defecto FDS considera que los límites del dominio computacional tienen el efecto de un objeto que aísla al dominio de su exterior. Esta apertura del dominio es necesaria puesto que así se podrá simular como si el edificio estuviera abierto al exterior y no metido dentro de una ‘caja de zapatos’. Con las siguientes líneas de código se impone la apertura al exterior:

```
&VENT MB='XMAX', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB='XMIN', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='OPEN' /
```

Las siguientes líneas de código del archivo de entrada generarán la **geometría de la nave**. Tal y como se explica en el anexo sobre el uso de FDS, este software trabaja en la definición de objetos usando un sexteto de coordenadas, las cuales definen un paralelepípedo que constituye el objeto a definir. Debido a esto, para poder modelar la geometría de la nave estudiada de forma correcta, se ha de estudiar primero cómo traducirla al ‘lenguaje’ de FDS. Para ello, se dividen cada uno de los componentes constructivos de la nave en

paralelepípedos.

Se ha de señalar que el componente que mayor dificultad ha generado su definición en FDS es la cubierta ya que, al poseer pendiente, se ha tenido que modelar como una sucesión escalonada de paralelepípedos con espesor de 10 cm.

Para la definición de los agujeros o huecos que representan los exutorios y las puertas, se utilizará de igual manera FDS para definir las dimensiones de dichos agujeros.

Con el objetivo de minimizar el número de líneas de códigos en el archivo de entrada en FDS, éste permite el uso de multiplicadores que permiten que, partiendo de un objeto original, se pueda hacer un desarrollo de éste copiándolo colocándolo en diferentes posiciones y con variaciones de sus coordenadas.

&OBST XB=2.5,2.7,3.,30.,0.0,9.5, SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/ Pared fachada transversal 1. Hasta el final del dominio xq simula la pared contigua

&OBST XB=77.4,77.6,3.,30.,0.0,9.5, SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/ Pared fachada transversal 2. IDEM

&OBST XB=2.7,77.4,3.,3.2,0.0,9.6, SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/ Pared fach longit baja

&OBST XB=2.5,77.6,28.,28.2,0.0,11.1, SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/ Pared fach longit alta

&OBST XB=0.0,80.,0.0,30.,-0.1,0.0, SURF_ID='CONCRETE VIGAS'/ representa el suelo que es de hormigon y tiene un espesor de 40 cm.

&MULT ID='Cubierta', DXB=0.0,0.0,1.7,1.7,0.1,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=15/

&MULT ID='Laterales',DXB=0.0,0.0,1.7,1.7,0.0,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=15/

&MULT ID='Exutorios',DX=9.3,DY=10, I_LOWER=0, I_UPPER=7, J_LOWER=0, J_UPPER=1/

&OBST XB=2.5,77.6,3,4.66,9.6,9.8, MULT_ID='Cubierta',COLOR='RED' / cubierta debería hacerse con 15 paralelep escalonados y reduciendo la vorticidad.

&OBST XB=2.5,2.7,3,4.66,9.5,9.6, MULT_ID='Laterales', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/Paredes laterales bajo cubierta

&OBST XB=77.4,77.6,3,4.66,9.5,9.6, MULT_ID='Laterales', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/idem

&HOLE XB=6.7,9.62,12.6,14.4,9.5,11.5, TRANSPARENCY=0.5, MULT_ID='Exutorios', COLOR='BLUE', DEVC_ID='timer1'/ Se hace con I_UPPER y J_UPPER... ya q no se replica igual en ambas direcciones

****las puertas tb se definen como HOLES**

&MULT ID='Portones', DXB=0.0,0.0,4.6,4.6,0.0,0.0, N_LOWER=0, N_UPPER=3/

&MULT ID='Puertas', DXB=19.8,19.8,0.0,0.0,0.0,0.0, N_LOWER=0, N_UPPER=2/ 19.8 es la separacion media

&HOLE XB=77.35,77.65,4.45,7.25,0.0,3.25, MULT_ID='Portones', COLOR='ORANGE RED', DEVC_ID='timer2'/

&HOLE XB=6.9,7.8,2.95,3.25,0.0,2.1, MULT_ID='Puertas', COLOR='ORANGE RED', DEVC_ID='timer2'/
&HOLE XB=77.35,77.65,22.85,23.75,0.0,2.1, COLOR='ORANGE RED', DEVC_ID='timer2'/puerta unica en la fachada transv 2

&HOLE XB=2.45,2.75,23.54,26.85,0.0,4.75, COLOR='ORANGE RED', DEVC_ID='timer2'/ porton unico en la fachada transv 1

***Las vigas y la cortina de humos tb se definen con MULT*

&MULT ID='Vigas', DXB=0.0,0.0,1.7,1.7,0.1,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=14/hay q tener en cuenta todo el recorrido de la viga

&MULT ID='Cortina', DXB=0.0,0.0,1.7,1.7,0.0,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=14/

*

&OBST XB=12.4,12.8,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='SLATE GRAY'/cada una de sus posic en x se calculan a mano

&OBST XB=21.8,22.2,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=31.3,31.7,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=40.7,41.1,3,4.66,8.1,9.6, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='SLATE GRAY'/ Esta viga llega hasta la cubierta. puesto q debe haber division entre dep de humos

&OBST XB=50.2,50.6,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=59.6,60,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=69,69.4,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=40.8,41,3,4.66,7.2,8.1, MULT_ID='Cortina', COLOR='TURQUOISE'/ de 20cm de grosor

***Pasamos a definir las estanterias geometricamente.*

&MULT ID='Estanterias', DX=2.8, DY=5.5, DZ=1.84, I_LOWER=0, I_UPPER=22, J_LOWER=0, J_UPPER=3, K_LOWER=0, K_UPPER=3/

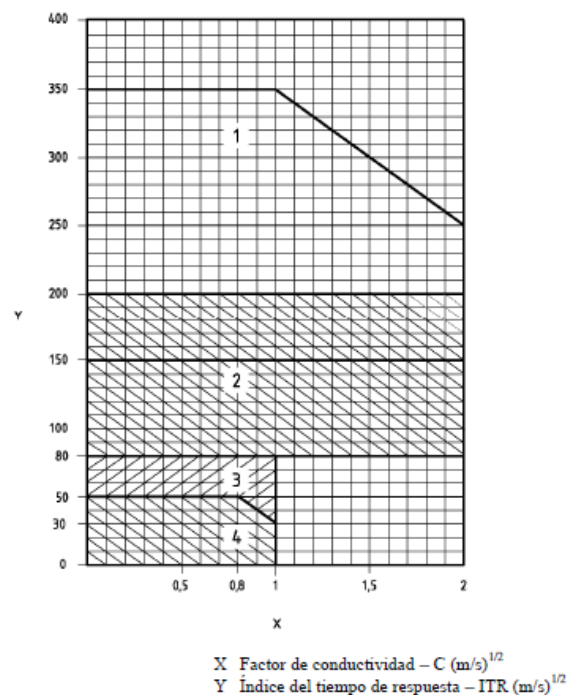
&OBST XB=3.15,5.75,4,5.2,0.0,1.5, MULT_ID='Estanterias', COLOR='MAROON'/

&OBST XB=3.15,5.75,8.2,9.4,0.0,1.5, MULT_ID='Estanterias', COLOR='MAROON'/

Los **rociadores** se han modelado siguiendo los parámetros pedidos por FDS que se han podido obtener de los manuales de fabricante. Como se expone en el apartado 1.3. los rociadores utilizados son de tipo ESFR concretamente los del tipo K-25. Esto se traduce en las siguientes características:

- Un K=320m con caudal de 707 L/min.
- Presión de 4.88 bar.
- RTI=26m*s ½.
- Los cálculos de C y la curva de descarga se han de realizar siguiendo⁶ mediante los siguientes pasos:

⁶ Siguiendo los pasos establecidos en las normas NFPA 20 (Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection) y SFPE (Handbook of fire protection engineering).



Leyenda

- 1 Respuesta normalizada B
- 2 Respuesta normalizada A
- 3 Respuesta especial
- 4 Respuesta rápida

Ilustración 22. Límites de los factores C e RTI para la orientación normal

Siendo el rociador de respuesta rápida, y con el RTI dado, se pasa a tener un factor C de entre 0 y 1. Como el RTI tiene un valor de 26, entonces, el factor C tiene un valor de 1.

Para calcular la curva de descarga del rociador, se ha accedido a la documentación de éste, en la cual se puede encontrar:

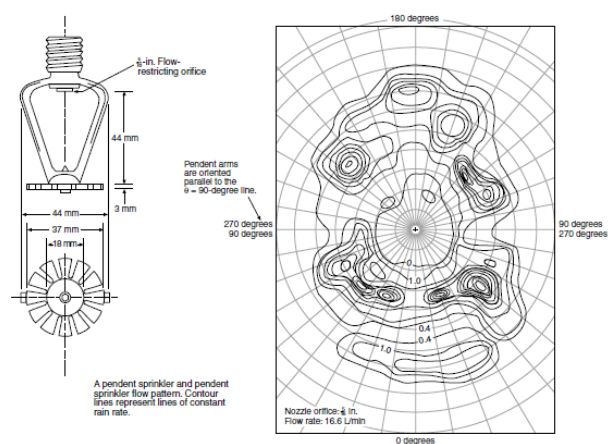


Ilustración 23. Contornos de dispersión del agua

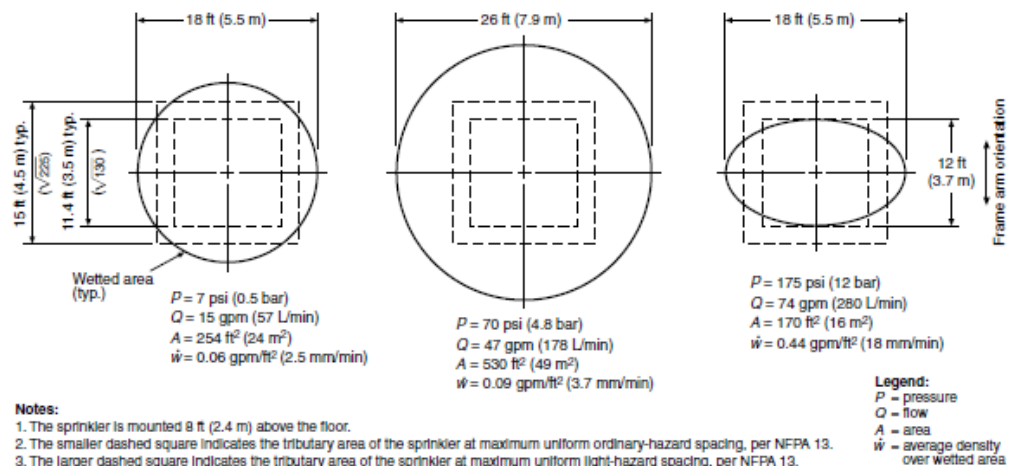


FIGURE 10.9.6 Spray Pattern (Floor Level) versus Discharge Pressure

proportional to the one-third power of water pressure and directly proportional to the two-thirds power of sprinkler orifice diameter,⁸ such that:

$$d_m \sim \frac{D^{2/3}}{\rho^{1/3}} \sim \frac{D^2}{Q^{2/3}}$$

where

d_m = median droplet diameter

D = orifice diameter

ρ = pressure

Q = rate of water flow

Total droplet surface area is proportional to the total water discharge rate, divided by the median droplet diameter

$$A_s \propto Q / d_m$$

where A_s = total droplet surface area

Combining these relationships, it can be seen that:

$$A_s \propto (Q^3 \rho D^{-2})^{1/3}$$

The heat absorption rate of a sprinkler spray can be expected to depend on the total surface area of the water droplets, A_s , and the temperature of the ceiling gas layer in excess of the droplet temperature. The total cooling ability of a sprinkler also depends on the depth of the ceiling jet or smoke layer through which the droplets pass.

a mist of fine water droplets can cause significant cooling, which reduces the radiative feedback to the fire below that which is needed to sustain combustion. In addition, the evaporation of water droplets can produce steam with a volume more than 1700 times that of the water and can deprive the fire of needed oxygen. This combination of "spray cooling" and "smothering," although efficient, has its limitations. It generally works well only if the fire is contained within an unventilated enclosure.⁹

The greatest efficiency is in the smallest enclosures, since almost all water droplets can be evaporated by contact with enclosing surfaces, and smothering is enhanced.¹⁰

In 1955, Nash and Rasbash¹⁰ reviewed extensive tests of manual water extinguishment of fully developed room fires and suggested that there is a minimum "critical rate" of water application below which the fire cannot be extinguished. With increased rate of water application above the critical rate, the time needed to control or extinguish the fire falls rapidly. With further increases in the rate of water application, the time to extinguish diminishes more slowly (Figure 10.9.7).¹⁰ Under the best of conditions, fires in model rooms could be extinguished with scanned jets or sprays with about 1 (imperial) gal per 1000 ft³ (4.5 L/28.4 m³) of room volume. It was found that a fixed spray with a medium degree of ventilation could extinguish the fire with about 2 (imperial) gal per 1000 ft³ (9 L/28 m³) of room volume.

Automatic sprinklers, of course, are expected to operate before total room involvement. To some extent, this makes their job more difficult, since the sprinkler spray is not readily evaporated to steam.

In a large, open, or well-ventilated area, a strong fire can

INTERACTION OF SPRINKLER

Ilustración 24. Normativa referente a rociadores de supresión.⁷

$$d_m = \frac{D^{2/3}}{\rho^{1/3}} \cong \frac{D^2}{Q^{2/3}} = 700 \mu m$$

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART ID='DROPLETS', DIAMETER=700., SPEC_ID='WATER VAPOR'/

&PROP ID='K-25', QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE', RTI=26, C_FACTOR=1, ACTIVATION_TEMPERATURE=93., PART_ID='DROPLETS', FLOW_RATE=707., PARTICLE_VELOCITY=10. /

⁷ NFPA 13.

Para la incorporación de los rociadores a la geometría, se ha tenido que introducir un gran número de líneas de códigos puesto que para la namelist PROP no hay posibilidad de utilizar los multiplicadores. Por ello, se crea una primera línea de código como la siguiente que después se irá repitiendo cambiando únicamente las coordenadas de las posiciones de los rociadores.

```
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=73.,5.,9., PROP_ID='K-25'
```

Los rociadores son uno de los factores que mayor influencia tienen en el desarrollo del incendio. Debido a ellos, la capa de humos desciende por debajo de la altura mínima de humos, gracias a ellos, la temperatura en el entorno del incendio y especialmente en la cubierta de la nave se mantiene en unos niveles aceptables.

Con el objetivo de controlar la **apertura de exutorios** y puertas se va a incluir en el archivo de entrada los llamados “dispositivos”, es decir, controladores en los que se impone que cuando el parámetro tiempo tenga un valor determinado entonces un valor cambia. En el caso concreto que vamos a utilizar, lo que se hace es imponer que el estado inicial de los agujeros de exutorios y puertas es falso, es decir, no se consideran como agujeros hasta el que dispositivo lo mande en un determinado momento de la simulación.

```
&DEVC XYZ=0.1,0.1,0.1, ID='timer1', SETPOINT= 15.0, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE.  
/exutorios cerrados hasta 6 sec, XYZ da igual xq solo depende para la activacion.
```

```
&DEVC XYZ=0.1,0.1,0.1, ID='timer2', SETPOINT= 900.0, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE.  
/puertas se abren manualmente a los 15 mins
```

Para considerar que las **condiciones en el exterior** no son de calma absoluta se ha decidido incluir un viento horizontal de 5 m/s con una orientación de 255° respecto al eje x positivo.

```
&WIND SPEED=5., DIRECTION=255. /
```

FDS permite incluir tanto planos como rectas y/o puntos en los cuales se tomen **medidas de los parámetros** deseados durante el desarrollo de la simulación. Esta herramienta de FDS se va a utilizar para obtener de forma gráfica los valores más significativos e importantes de cada uno de los escenarios simulados. Dichos parámetros deseados son, entre otros, la toxicidad a la altura de 2 m, la temperatura a la misma cota, el perfil de temperatura en dos planos perpendiculares que se cortan sobre el fuego.

De diversos estudios experimentales se obtiene que los valores máximos para la supervivencia en el caso de incendio son de 93°C a la altura de 2 metros y una presencia máxima de un 1.5% de CO a esa misma altura.

```
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBZ=2/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2/
```

****Se quiere también ver el perfil de temperaturas en 2 planos perpendiculares q se cortan sobre el fuego**

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=73/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=17/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=67/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=64/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=61/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=5/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=8/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=11/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=14/
```

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=17/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=9/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=1.8/visibilidad a la altura de los ojos.

***'VISIBILITY', 'VOLUME FRACTION', 'DENSITY', ...*

**** Pueden estar en un punto o en un plano.**

****ISOF: para ver curvas animadas de valores fijos, por ejemplo, curvas donde la temp es 90°C**

-----DUMP-----
-----CAP 17

****permite editar con la frecuencia con la q salen los parámetros y las salidas en general**

Por último, el archivo de entrada a FDS requiere ser cerrado usando la siguiente línea de código. Así, FDS conseguirá detectar de forma rápida donde está el final del código y podrá ejecutarlo al completo sin perder ninguna línea.

&TAIL/

4.2. Escenario 1:

En este escenario se propone estudiar un incendio producido en la nave con un flujo de calor generado de 250 kW/m². El incendio se ubicará en una posición centrada respecto a uno de los depósitos de humos, concretamente respecto al depósito 1. En este caso se considerará la presencia de rociadores y su actuación siguiendo las características de estos. Hay que tener en cuenta que la instalación de los rociadores ya ha sido calculada previamente a la realización de este trabajo.

Los rociadores son tipo ESFR, es decir, están calculados de tal forma que son capaces de suprimir el fuego, en el caso estudiado se representará la situación en la cual los rociadores activos no sean suficientes para la supresión del fuego. En semejante situación, deberán actuar los servicios de extinción de incendios y, con el propósito de facilitar su acceso y visibilidad al foco del incendio, el SCTEH actuará manteniendo la capa de humos en la altura requerida.

Hay tres parámetros de FDS que generan funciones de una variable independiente y una dependiente; una de ellas es TAU_Q que indica el momento (en segundos) en el cual el HRRPUA llega a su valor impuesto por el usuario. Antes de dicho instante, el HRRPUA será una función creciente de tipo parabólico en el caso que TAU_Q dado sea un valor negativo y una función de tangente hiperbólica en caso de ser positivo.

El cálculo del valor de TAU_Q se explica a continuación:

Sabiendo que la curva de incendio que se espera en el caso estudiado es de tipo parabólico hasta llegar al punto de HRRPUA máximo y luego constante, se propone la ecuación de la función HRRPUA definida a trozos:

$$Q_t = \alpha \cdot t^2;$$

Según se ha podido obtener de la bibliografía⁸, el valor de α depende del tipo de combustible con el

⁸ CIBSE Guide E Fire engineering Chapter 10 Fire dynamics. Apartado 10.5.3.1. Fire growth rate.
Fire Protection Handbook NFPA 19th edition 2003 Chapter 7 Fire Hazard Analysis.

cual se genera y mantiene el incendio. En el caso que se estudia, el combustible se tratará principalmente de madera de los palés y propileno del embalaje; para dichos compuestos, el valor de $\alpha = 0.0469 \text{ kW/s}^2$. Por lo que, despejando en la ecuación de la curva, se tiene que el valor de TAU_Q es:

$$t^2 = \frac{Q_t}{\alpha}; \quad t = \sqrt{\frac{Q_t}{\alpha}}; \quad TAU_Q = \sqrt{\frac{250 \text{ kW}}{0.0469 \text{ kW/s}^2}} = 73.01 \text{ s};$$

&SURF ID='fire', HRRPUA=250., TAU_Q=-73.01/

&VENT XB=67.,73.,17.,23.,0.0,0.0, XYZ=70.,20.,0., RADIUS=3., COLOR='RED', SPREAD_RATE=0.05, TRANSPARENCY=0.8, SURF_ID='fire'/

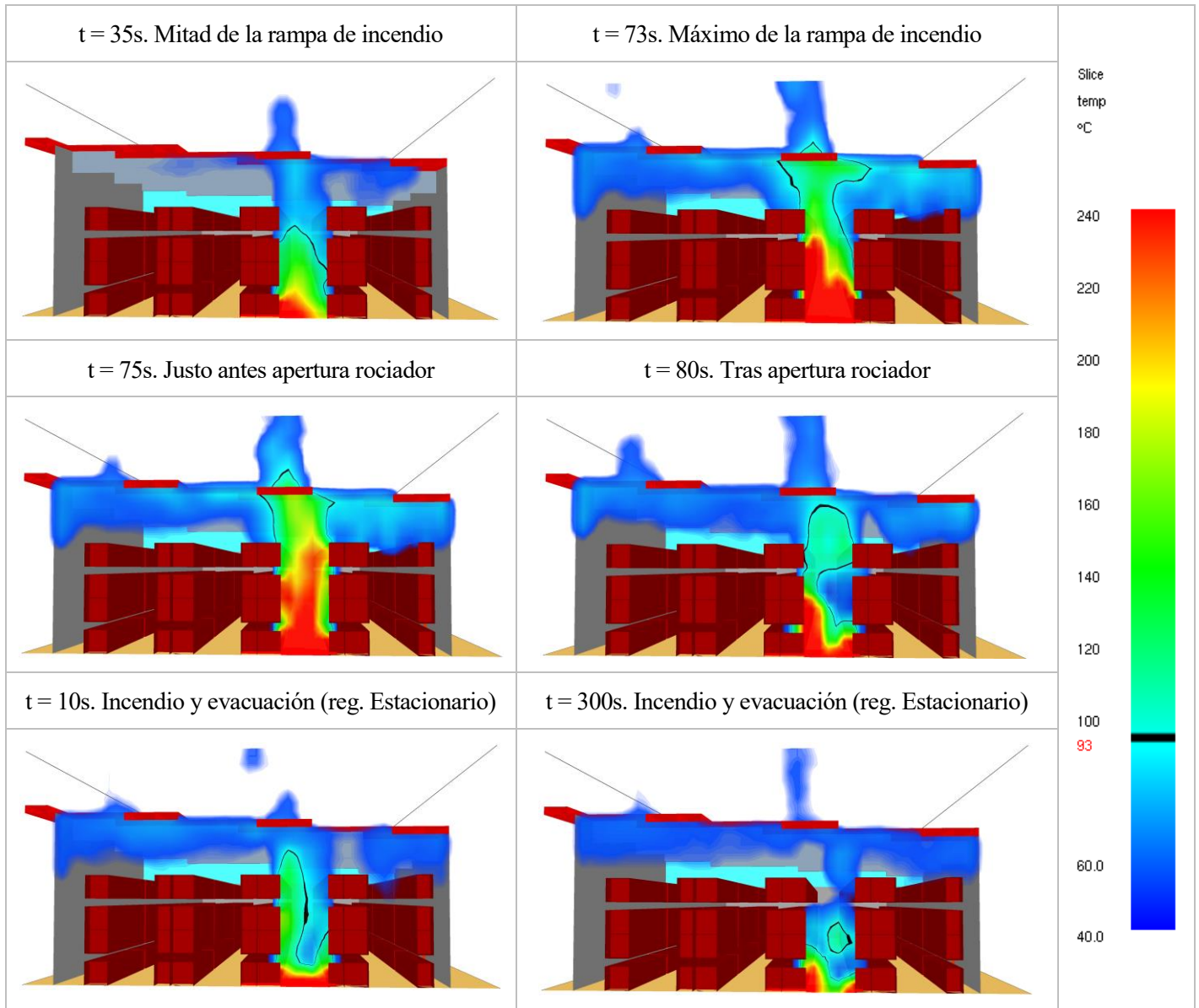
RESULTADOS

Se abre un único rociador en el segundo 75. El rociador abierto se trata del n° 133 según la designación dada por el código de entrada a FDS, es decir, se trata del rociador que se encuentra en la vertical del fuego producido, tal y como era de esperar. Se observa que con dicho rociador es suficiente para rebajar la temperatura en la cubierta de la nave a valores inferiores a 93°C. También, observando los resultados mostrados por pantalla con Smokeview⁹ (que se verán a continuación), se puede afirmar que el sistema formado por el incendio y el rociador actuando en el interior de la nave se estabiliza en torno al segundo 100 de la simulación.

De aquí en adelante, los resultados representados por SMV mediante gráficos en 2D serán nombrados por el plano en el cual han sido obtenido dichos resultados. Tomando los ejes X, Y y Z del dominio computacional de FDS.

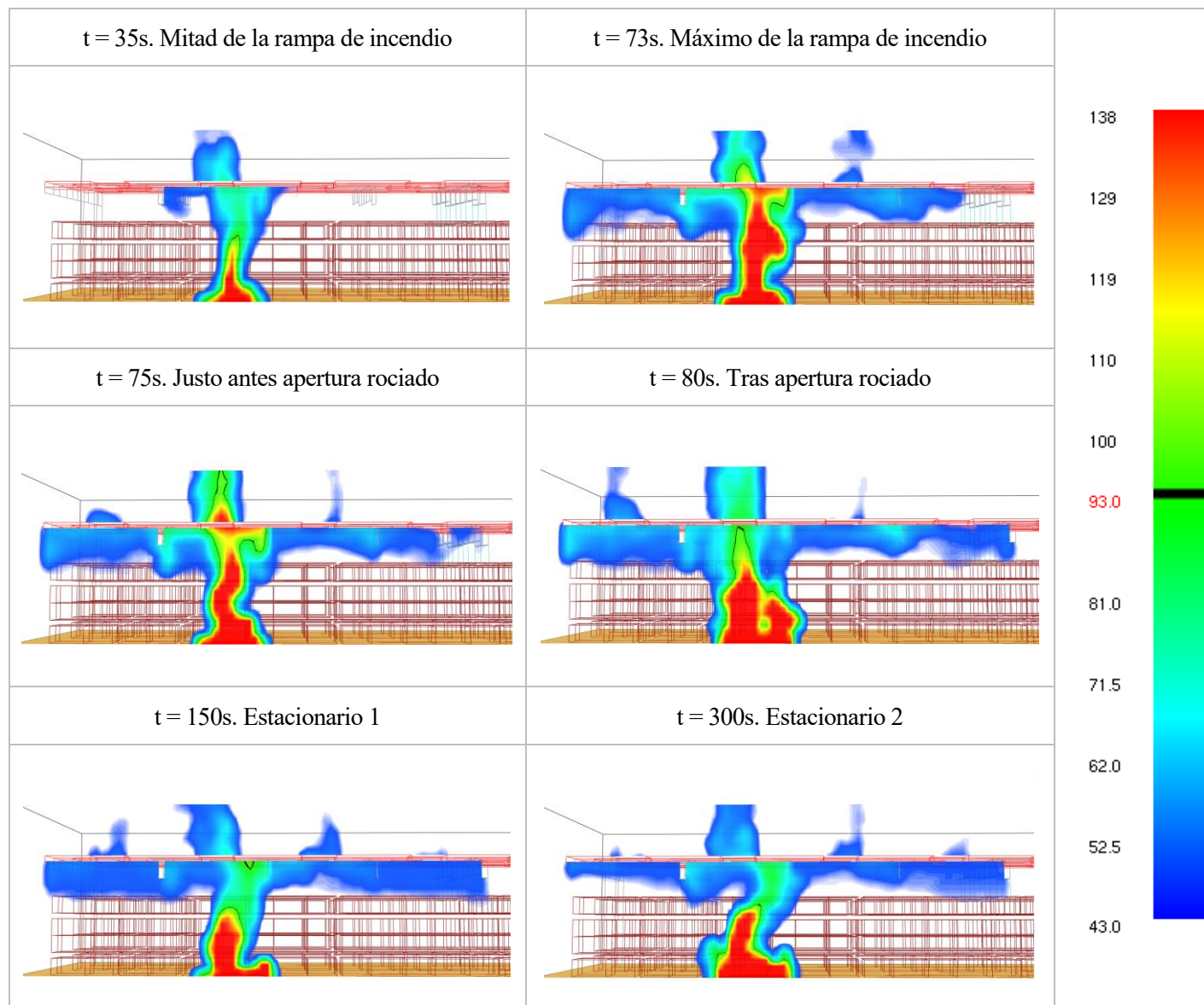
⁹ Smokeview (SMV), software que permite la representación gráfica de los resultados obtenidos por FDS. Más detalles en el Anexo V

4.2.1. Temperatura en el plano x = 19:



Es fácil observar que, para la potencia calorífica suministrada, el incendio provoca la apertura de un único rociador, el cual, tras activarse, y una vez pasado un tiempo de estabilización del incendio, es capaz de “controlar” la temperatura en la cubierta de la nave. Es importante observar que el rociador es capaz de reducir la temperatura en la zona de la cubierta que se encuentra en la vertical del fuego. Por ello, se puede afirmar que la estructura de la nave no corre peligro de verse debilitada por calentamiento mediante la pérdida de sus propiedades estructurales por culpa del calor generado por el incendio.

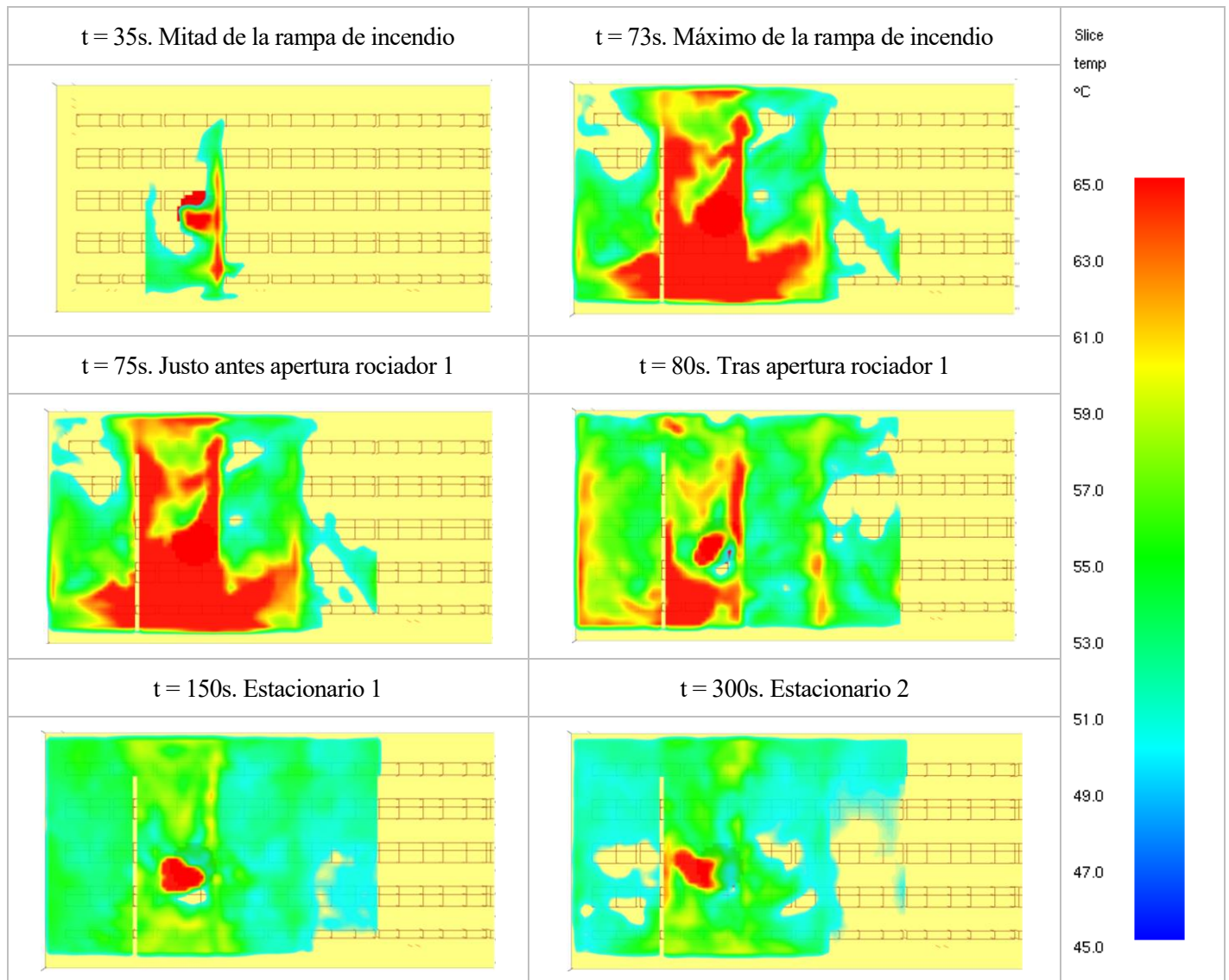
4.2.2. Temperatura en el plano $y = 13$:



En el caso del plano en $x = 19\text{m}$ se observaba que el rociador activado es capaz de controlar la temperatura, y en este caso, $y = 13\text{m}$, se confirma dicha observación.

Además, se puede decir también que, para temperaturas superiores a 50°C , el aire se encontrará por encima de la cota de 7.5 metros que ha sido establecida como la altura mínima de humos. Con esto se puede garantizar que, siempre que los humos se mantengan calientes, se cumplirá con la altura mínima de humos.

4.2.3. Temperatura en el plano $z = 9$:

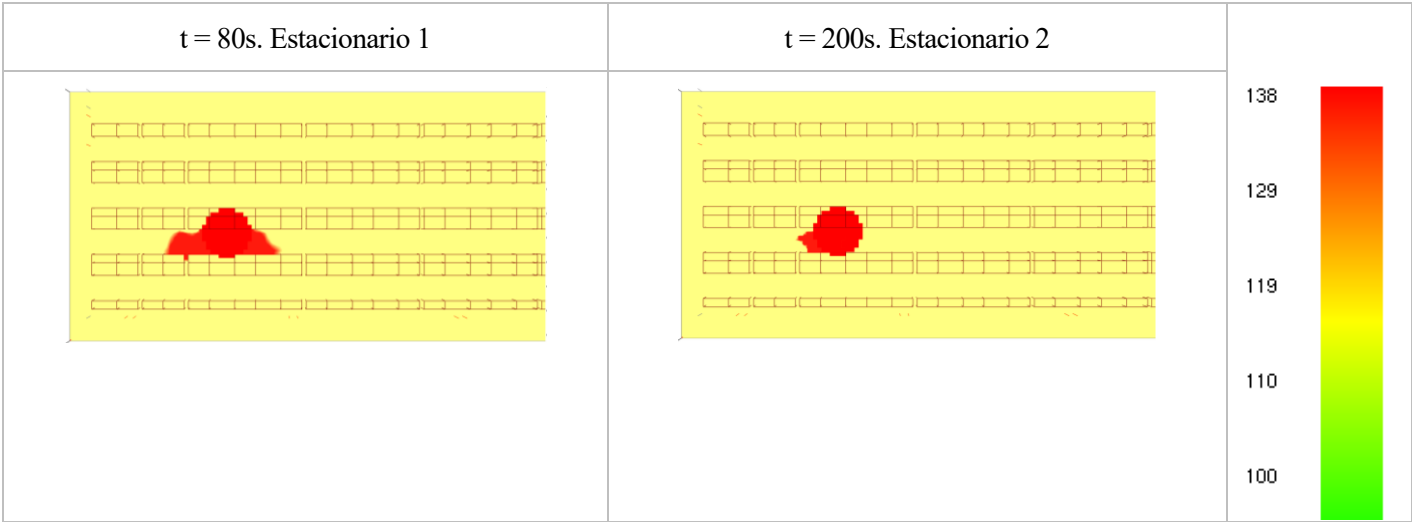


De estos planos de temperatura, la primera idea que se obtiene es la importancia de los rociadores para el control de la temperatura en la cubierta. Permite controlar la temperatura a la altura de las vigas y viguetas que sostienen la cubierta y así evita la posible pérdida de las propiedades estructurales de estos componentes constructivos de la nave¹⁰.

¹⁰ La temperatura a partir de la cual los componentes constructivos empiezan a perder sus características estructurales es de $200^{\circ}C$.

4.2.4. Temperatura en el plano z = 2:

El valor máximo de temperatura para la supervivencia es de 93°C.

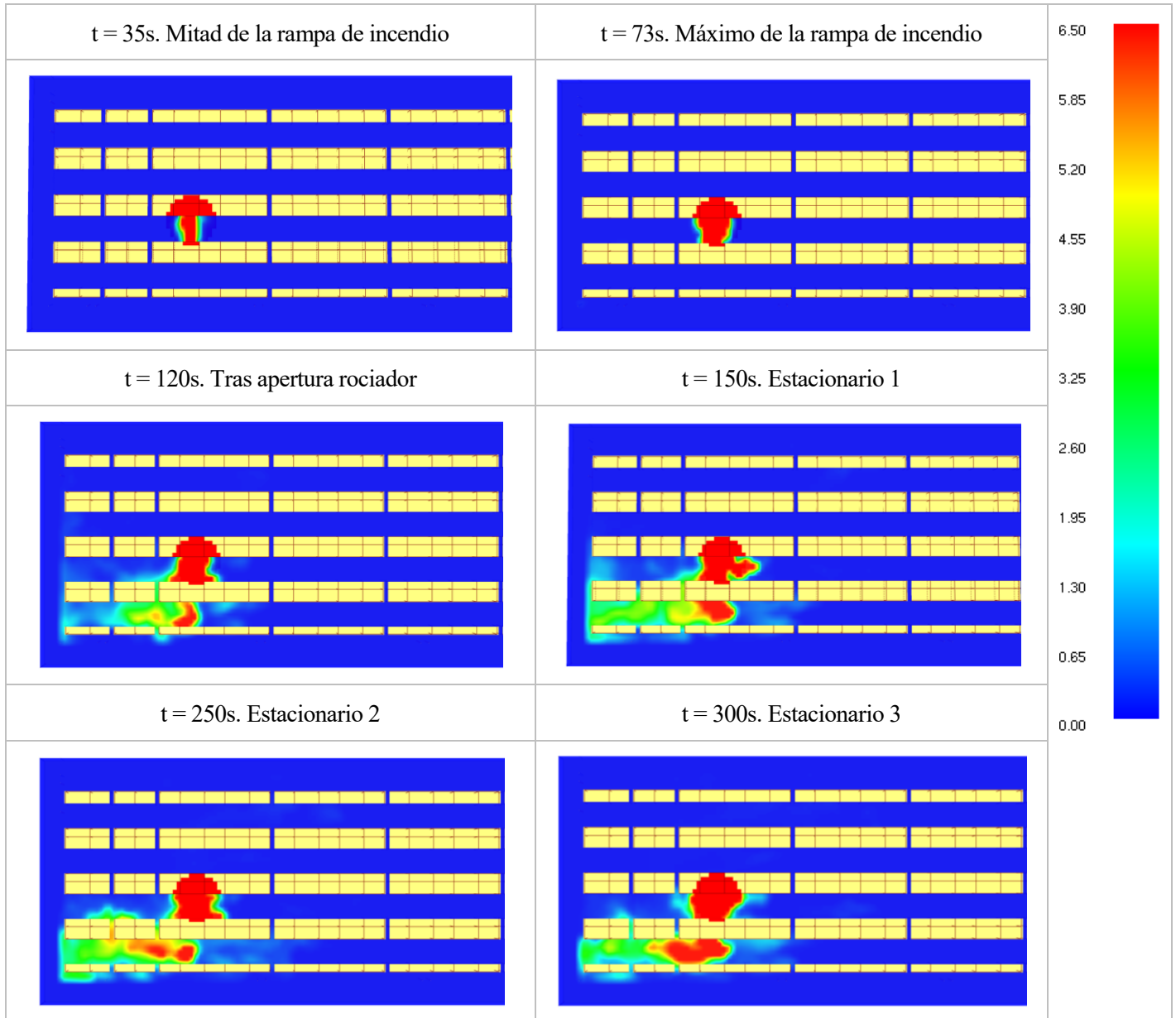


Desde el instante t = 30s hasta el final de la simulación, la temperatura en los puntos de altura igual a 2 metros es igual a la temperatura del ambiente, salvo por los puntos que se encuentran en la vertical del incendio, es decir, los que pertenecen al penacho de humos. Estos puntos de penacho de humos tendrán una temperatura de 138 °C de media.

Junto con las conclusiones obtenidas de los planos de temperatura en x = 19m y en y = 13m, se confirma que la temperatura a nivel de 2m de altura es inferior a 50°C, lo que da un margen más que suficiente sobre la temperatura máxima para la supervivencia.

4.2.5. Planos de toxicidad:

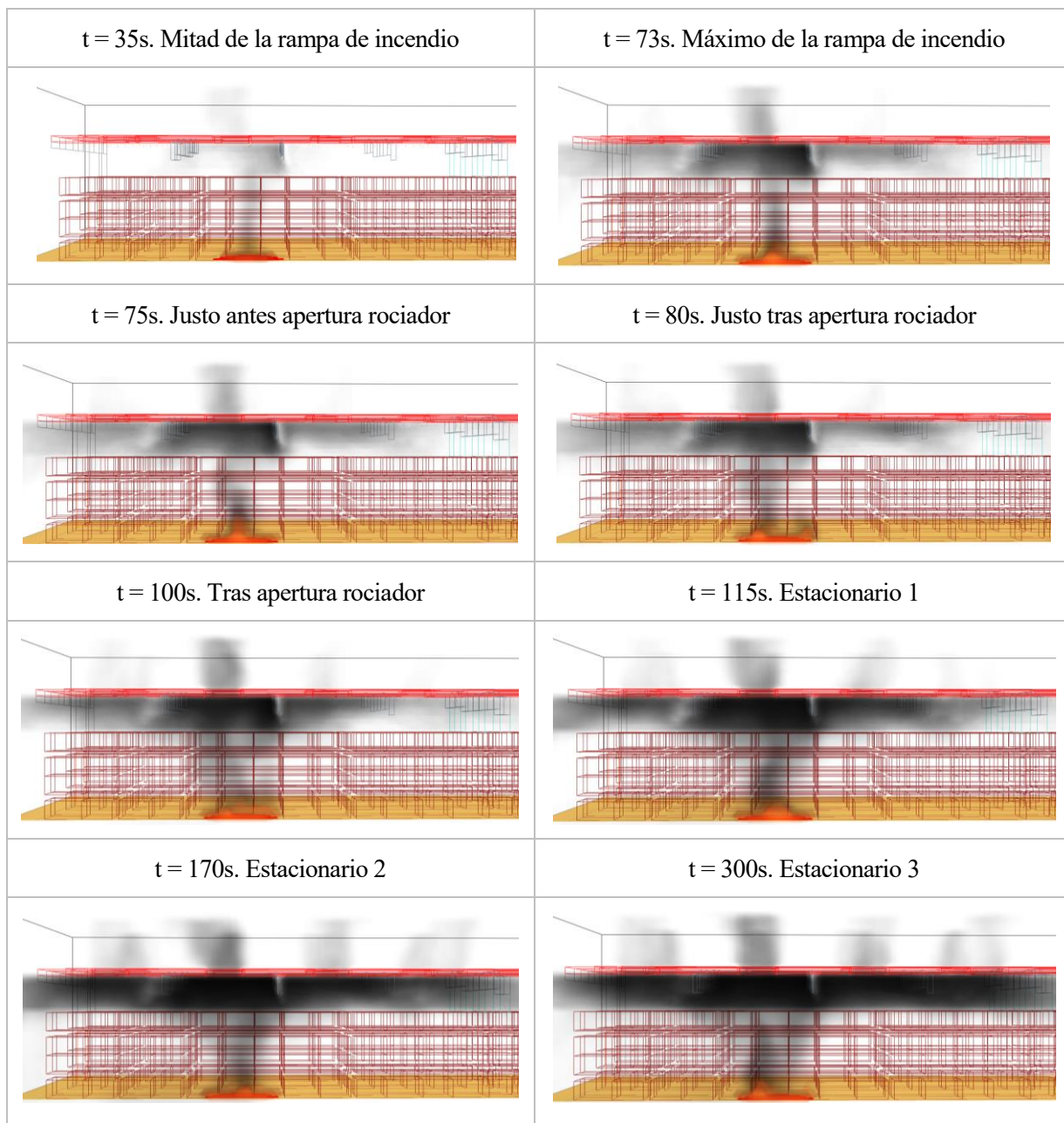
Cuando la concentración de CO se mantiene sobre los 1.5 y 2% la desorientación, la pérdida de conciencia y la muerte son posibles. Por lo tanto, el valor máximo para la supervivencia que se va a tomar en el caso de estudio será de 1.5% CO en el ambiente.



El valor máximo de contenido de CO en el ambiente para la supervivencia es de 1.5% y se observa en los resultados mostrados por SMV que este valor es superado en torno al fuego y en la mitad del pasillo 1. Esto se debe a la caída de la capa de humos provocada por el enfriamiento de éste, con lo cual, hay que ser consciente de que, cuando vayan a entrar los servicios de extinción de incendios hay que ventilar la nave para que puedan acceder sin peligro.





4.2.6. Capa de humos:

1.1. Altura de la capa de humos a lo largo del tiempo.



Se observa como a lo largo del tiempo, la capa de humos va oscureciéndose hasta alcanzar el valor estacionario del incendio, en el cual la altura de humos se mantiene y parte de esta cae por el pasillo 1. La caída de humos se debe principalmente al enfriamiento provocado por la acción de los rociadores, pero se ha de tener en cuenta que este problema no refleja una situación realista puesto que los rociadores utilizados son rociadores de supresión, es decir, están diseñados para que se apague el fuego. Como los rociadores extinguen el fuego, en el momento de extinción se dejaría de generar humos y por lo tanto la capa de humos caída sería menor a la visualizada en el caso anterior, en el cual se ve que no se apaga el fuego, sino que, por el contrario, se sigue generando humos y esto provoca una caída parcial de la capa de humos.

1.2. Influencia de los rociadores, tiran la capa de humos abajo.

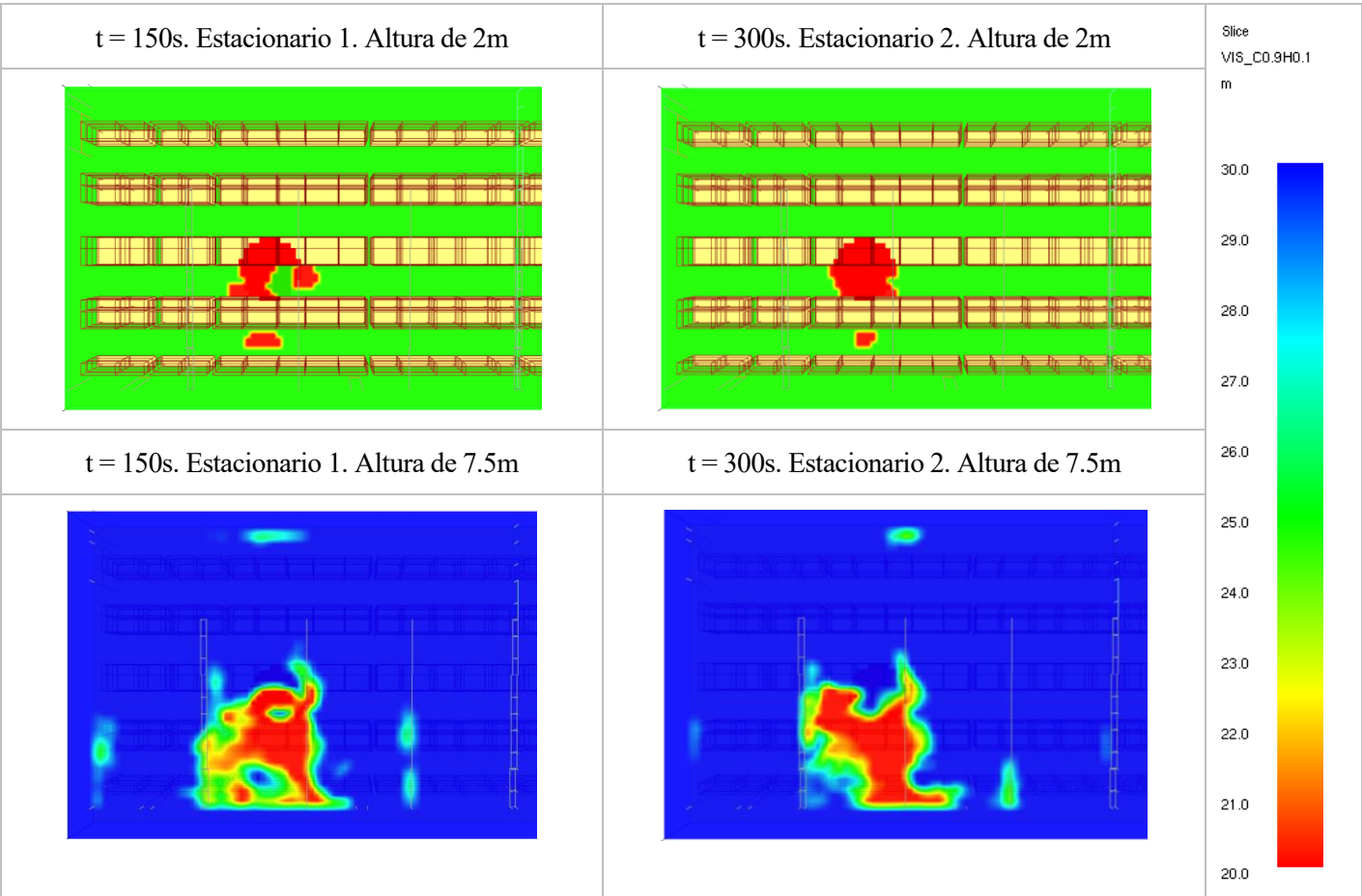
t = 73s. Previo apertura rociador	t = 80s. Justo tras apertura del rociador
	
t = 100s. La capa de humos va cayendo	t = 120s. Capa de humos en régimen estacionario
	

Caída de la capa de humos en la zona del pasillo 1. Debido a la acción del rociador.

4.2.7. Visibilidad a 2 y a 7.5 metros de altura:

La visibilidad a una altura de 2 metros es superior a los 30 metros de visión que es el rango máximo en el cual se maneja FDS. Esto se cumple salvo para los puntos en el pasillo 1 a la misma altura que el fuego, donde, como se ha podido ver en las imágenes anteriores, la capa de humos cae hasta nivel del suelo, lo cual provoca que, en dicho punto del pasillo, la visibilidad pase a ser de 20 metros.

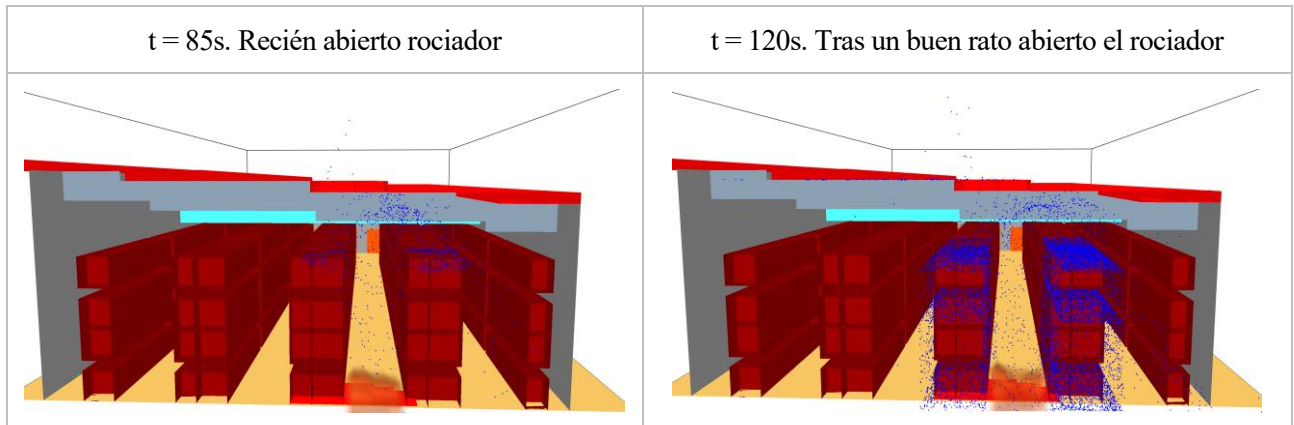
En cuanto a la visibilidad a la altura de 7.5m se han obtenido ya que así se puede observar en qué puntos la capa de humos traspasa el plano en $z = 7.5\text{m}$ que representaría la altura mínima de humos.



Como comentario se puede decir que el rociador, al disminuir la temperatura, provoca la caída de parte de los humos, éstos son humos enfriados puesto que no son apreciables en el plano de temperatura a cota 2 metros y sí que lo son en las representaciones de visibilidad y contenido de CO.

4.2.8. Partículas de agua:

Se puede observar que con rociador la capa de humos se ve afectada. Para observar el efecto negativo de los rociadores sobre la capa de humos, se debe dejar un tiempo de estabilización del modelo, tras dicho tiempo se observa como el rociador provoca que los humos se enfríen y caigan principalmente en el primer pasillo de la nave. Esto se debe a que en el segundo pasillo es donde se encuentra el fuego, es decir, habrá un flujo ascendente de humos (penacho de humo del incendio) que se verá afectado por los rociadores, pero en el pasillo 1 no hay ningún flujo ascendente de humos forzado por la presencia del incendio; debido a esto, se provoca un flujo de aire descendente que consta de humo enfriado y agua de los rociadores.



4.3. Escenario 2:

En este escenario se propone estudiar un incendio producido en la nave con un flujo de calor generado de 1250 kW/m². En este caso se considerará la presencia de rociadores y su actuación siguiendo las características de estos. Hay que tener en cuenta que la instalación de los rociadores ya ha sido calculada previamente a la realización de este trabajo.

La elección de las condiciones de este segundo escenario viene provocada debido a que en la norma UNE 23585, en el cálculo del modelo de incendio, se puede tomar un valor de calor generado de 250 kW/m² o un valor de 1250 kW/m². Dicho valor de 1250 no es de aplicación para el diseño de la nave estudiada, pero, como se pretende plantear distintos escenarios se ha escogido este valor con la intención de ver como se comportaría el sistema diseñado para valores mucho mayores a los de diseño y cuál es la influencia de estos valores.

El cambio de 250 kW/m² a 1250 kW/m² se ve reflejado en la línea de SURF definiendo fire, de tal forma que en el escenario 2, el código del archivo de entrada es el mismo que en el escenario 1, pero con la línea SURF siguiente:

&SURF ID='fire', HRRPUA=1250., TAU_Q=-163.26 /

Habiéndose obtenido el valor de TAU_Q con el nuevo HRRPUA mediante los siguientes cálculos:

$$Q_t = \alpha \cdot t^2;$$

El valor de $\alpha = 0.0469 \text{ kW/s}^2$. Por lo que, despejando en la ecuación de la curva, se tiene que el valor de TAU_Q es:

$$t^2 = \frac{Q_t}{\alpha}; \quad t = \sqrt{\frac{Q_t}{\alpha}}; \quad TAU_Q = \sqrt{\frac{1250 \text{ kW}}{0.0469 \text{ kW/s}^2}} = 163.26 \text{ s};$$

RESULTADOS

Apertura de los rociadores en los siguientes instantes de tiempo:

Nº	Rociador	Instante (segundos)
1	155	74.7
2	171	156
3	139	178.6
4	147	203
5	172	235.9
6	170	237.3

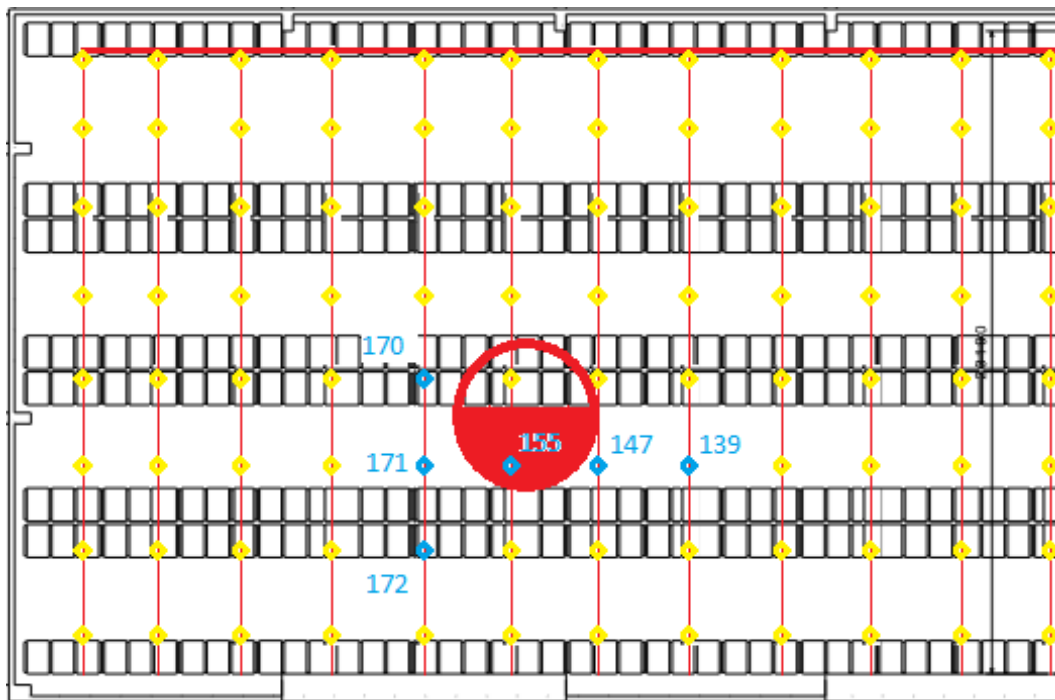
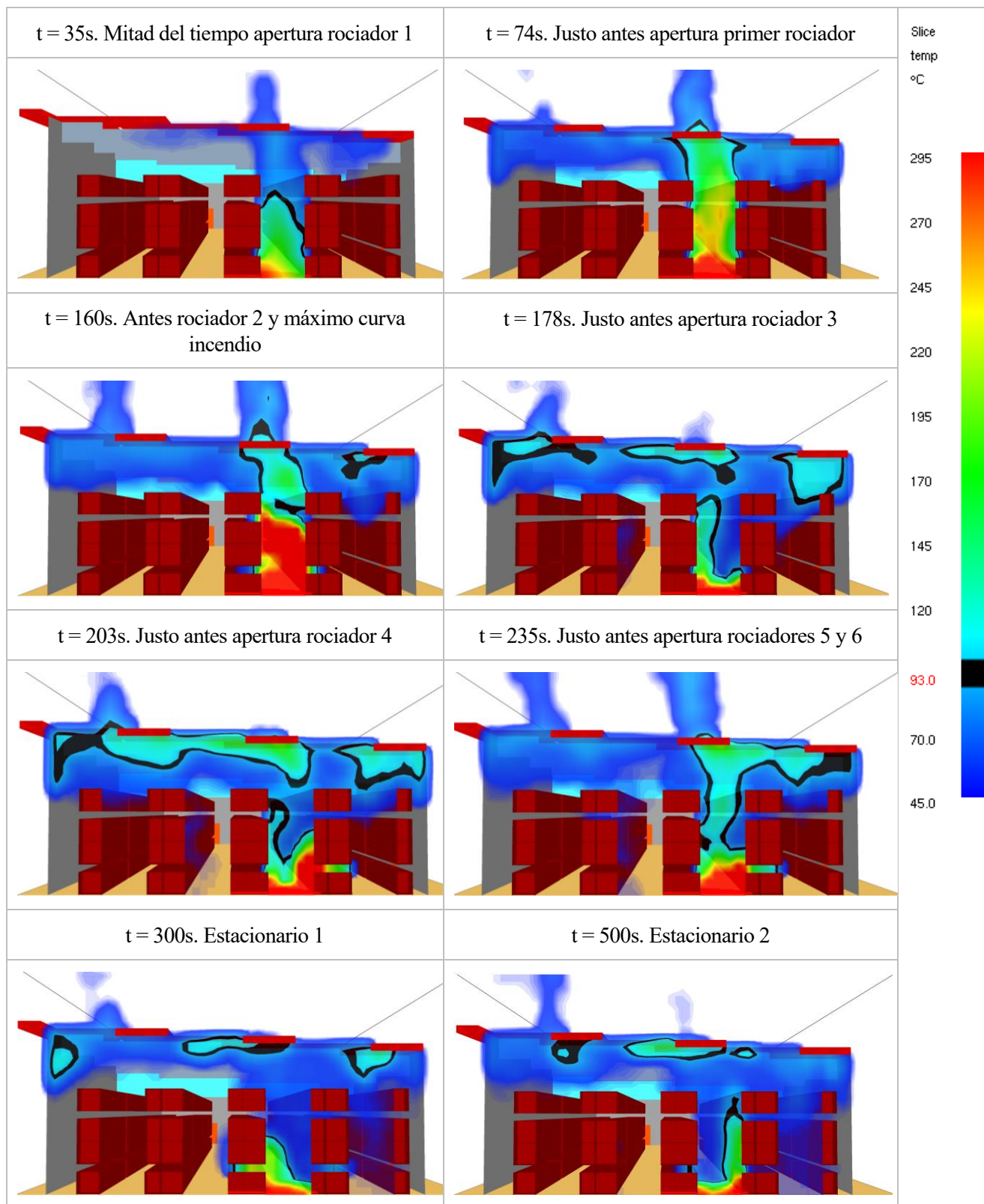


Ilustración 25. Ubicación de los rociadores.

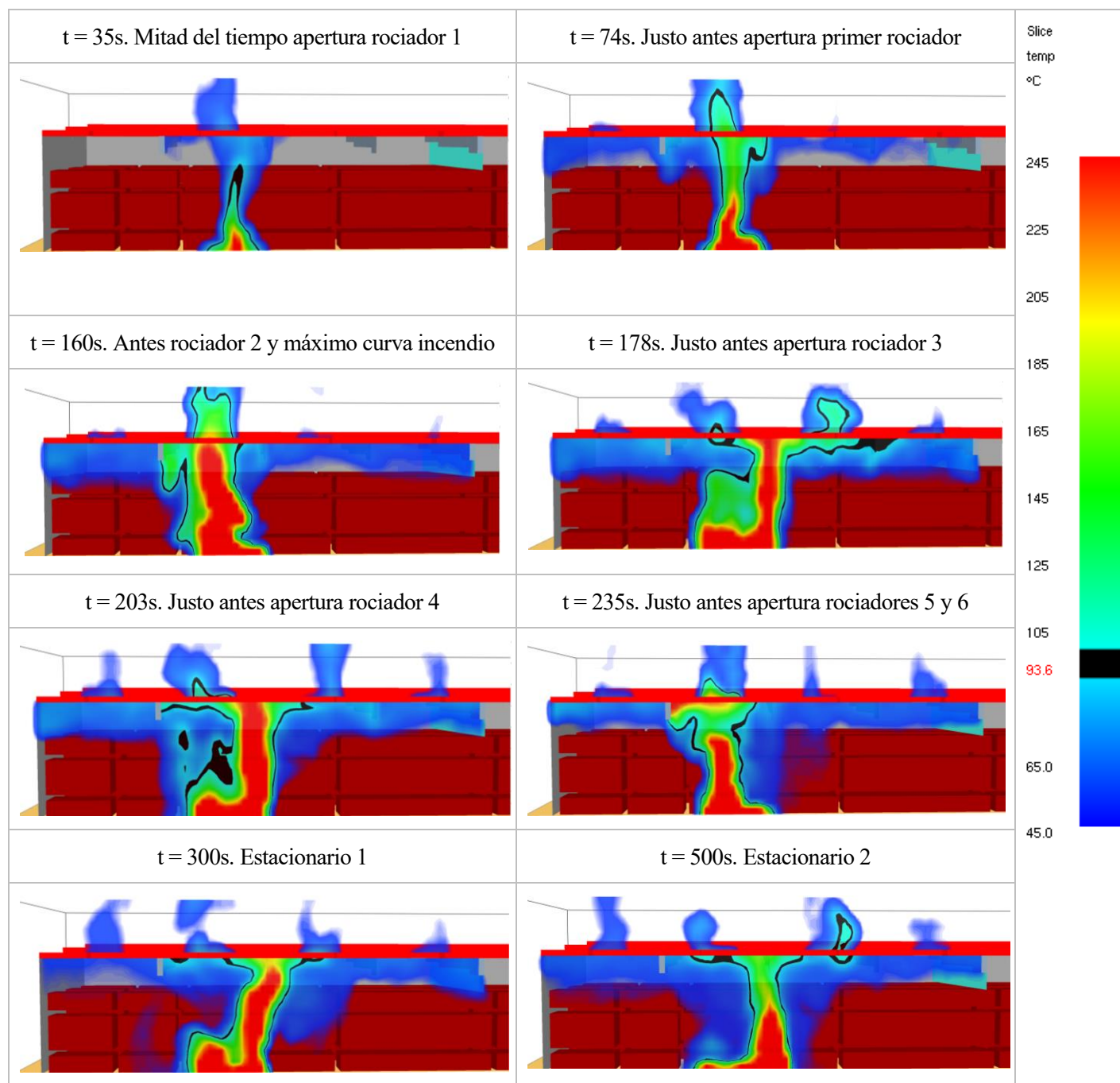
4.3.1. Temperatura en el plano x = 19:



Es fácil observar que, para la potencia calorífica suministrada, el incendio provoca la apertura de seis rociadores, los cuales, tras activarse gradualmente, y una vez pasado un tiempo de estabilización del incendio, no son capaces de “controlar” la temperatura en la cubierta de la nave. El valor de la temperatura en la cubierta es muy superior al observado en la cubierta en el escenario anterior, esta temperatura asciende a valores en torno a 200°C. Como ya se ha comentado anteriormente, para valores de 200°C las propiedades de los materiales constructivos se ven afectadas negativamente, debido a esto, se requerirá de la acción de los servicios de extinción de incendios.

Como en el escenario anterior, se ha de tener en cuenta que los rociadores en la realidad disminuirán el fuego. En las simulaciones realizadas en este TFG el desarrollo del fuego no se ve afectado por la acción de los rociadores.

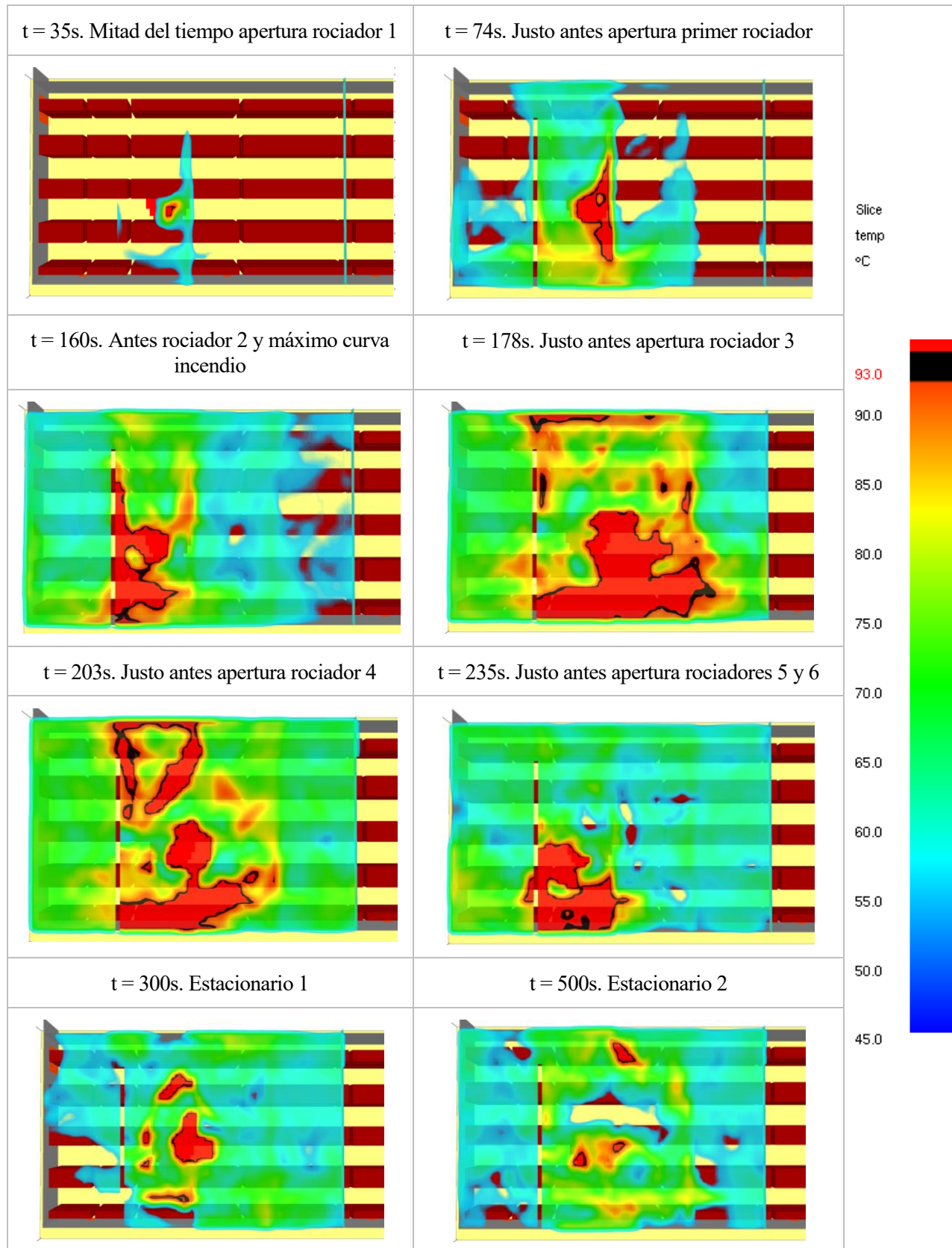
4.3.2. Temperatura en el plano $y = 13$:



En el caso del plano en $x = 19\text{m}$, se observaba que los rociadores activados no son capaces de controlar la temperatura, en este caso ($y = 13\text{m}$), se confirma dicha observación.

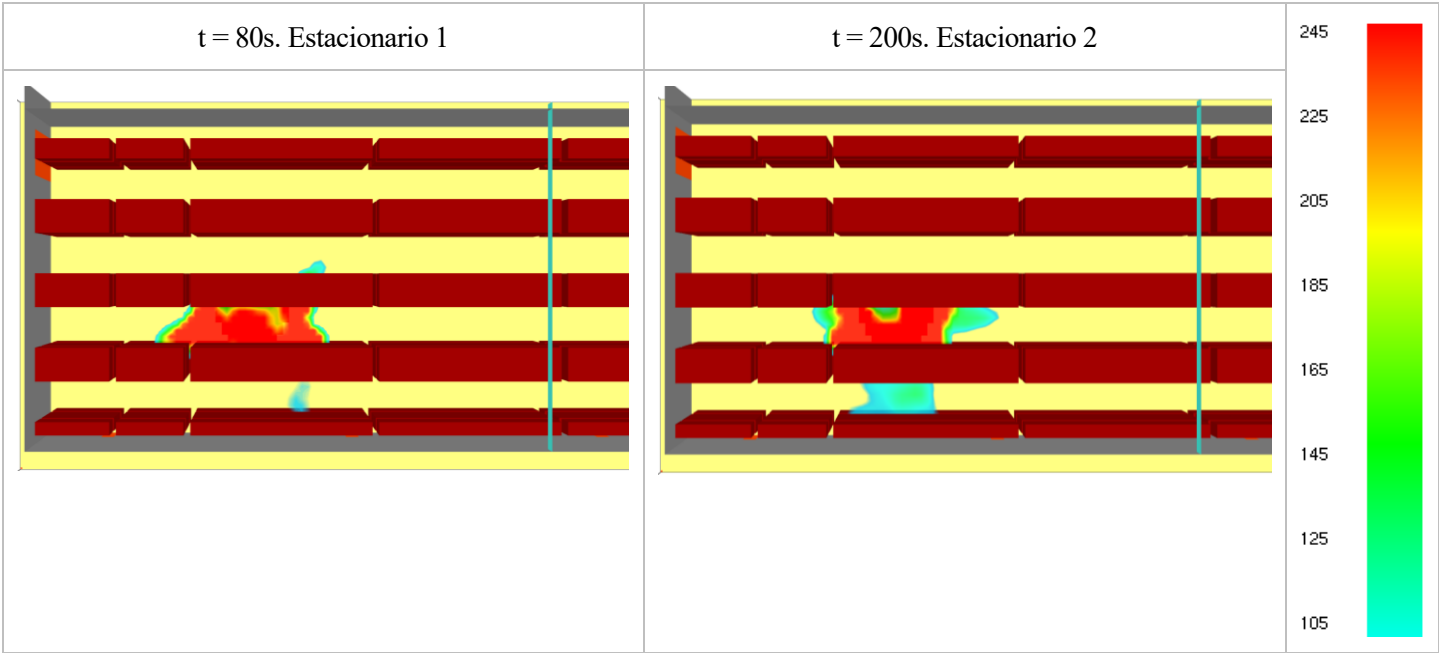
Además, se puede decir también que, para temperaturas superiores a 50°C , el aire se encontrará por encima de la cota de 7.5 metros que ha sido establecida como la altura mínima de humos. Con esto se puede garantizar que, siempre que los humos se mantengan calientes, se cumplirá con la altura mínima de humos. Este resultado es lógico, ya que, lo que ha cambiado del escenario 1 al 2 es la generación de calor, es decir, la cantidad de humo producido en la reacción permanece invariable. Habrá la misma cantidad de humos, pero con temperaturas muy superiores. La capa de humos estará más caliente pero no será mayor que en el caso 1.

4.3.3. Temperatura en el plano z = 9:



De estos planos de temperatura, la primera idea que se obtiene es la importancia de los rociadores para el control de la temperatura en la cubierta. Aunque no llega a controlar la temperatura a la altura de la vigas y viguetas que sostienen la cubierta, cuando se obtengan los resultados del escenario 4 (mismo que el escenario 2 pero sin rociadores) se comprobará que la influencia de los rociadores es enorme.

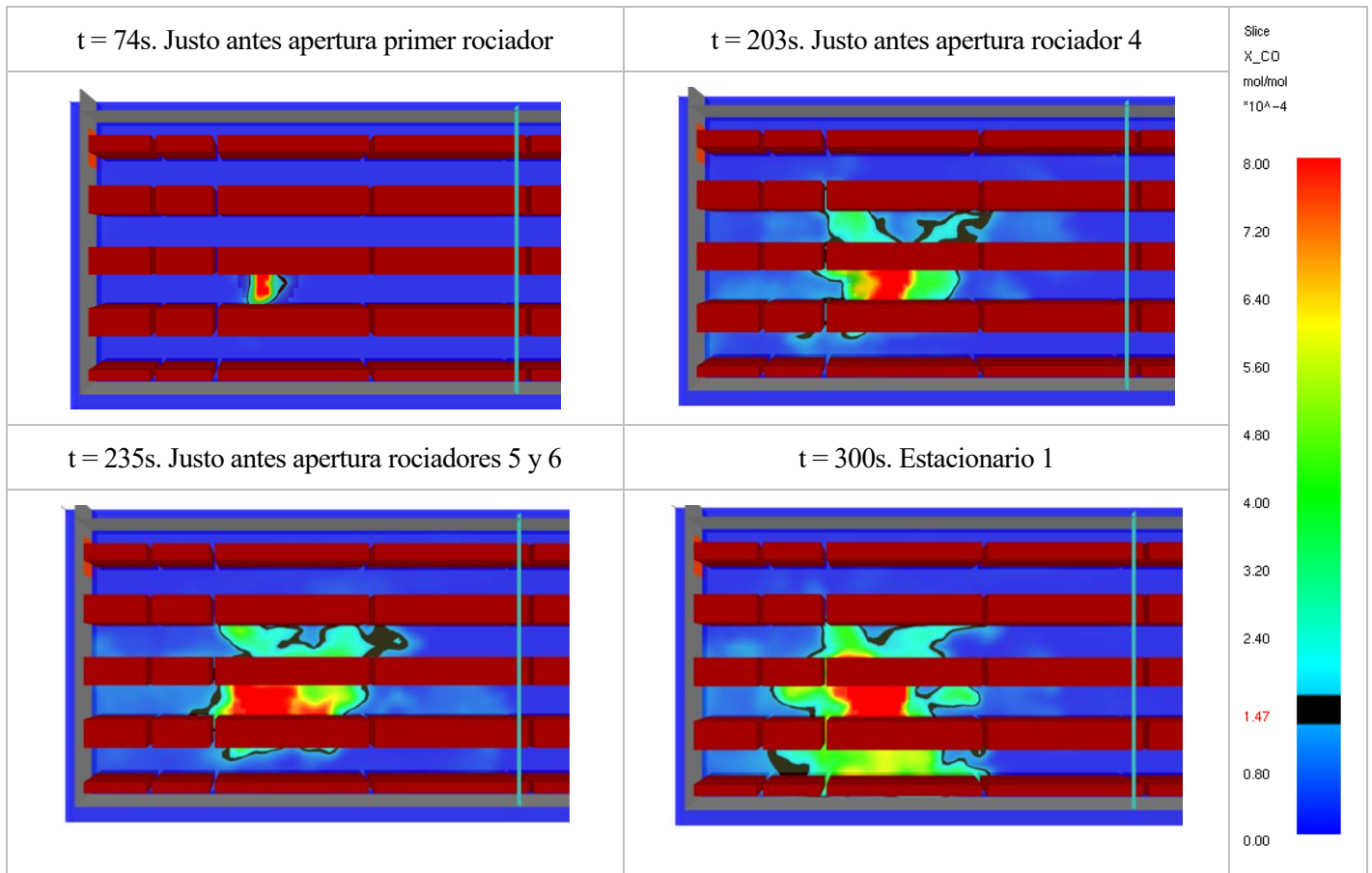
4.3.4. Temperatura en el plano z = 2:



Con un tiempo mayor a 30 segundos de simulación, la temperatura en el plano z = 2 metros permanece constante. En la mayoría del área de la nave la temperatura será la del ambiente, salvo en la vertical del fuego y en la zona más próxima a éste, donde el valor alcanzado por la temperatura será superior a los 150°C.

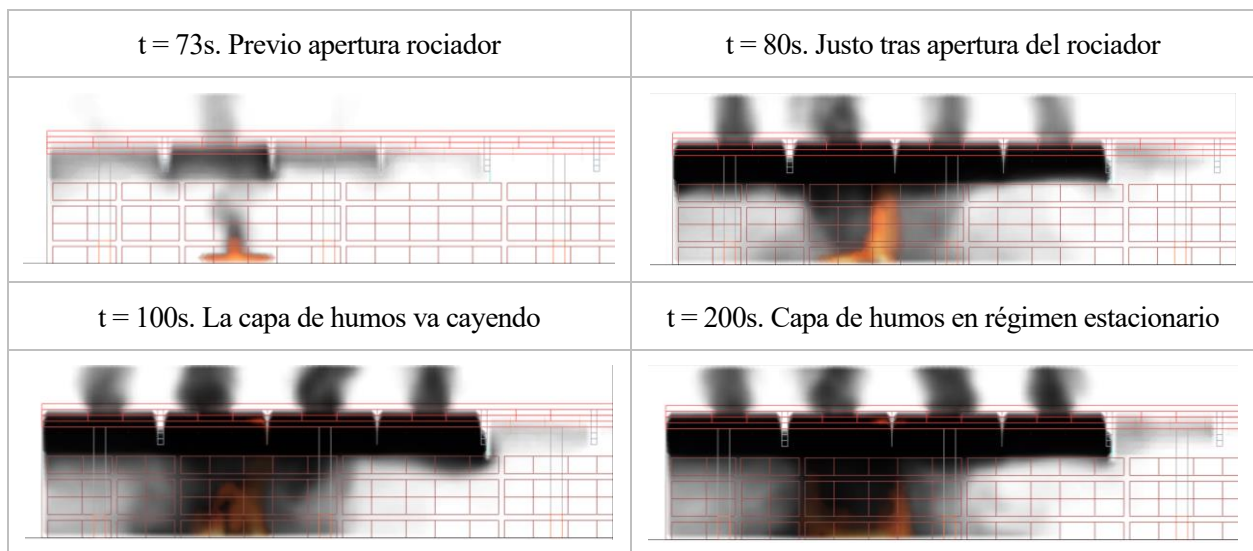
Junto con las conclusiones obtenidas de los planos de temperatura en x = 19m y en y = 13m, se confirma que la temperatura a nivel de 2 metros de altura (en la mayoría del espacio) es inferior a 50°C, lo que da un margen más que suficiente sobre la temperatura máxima para la supervivencia que sería de 93°C. Como observación se ha de señalar que en el pasillo 1 es donde la temperatura se incrementa hasta valores de 60°C que siguen garantizando la supervivencia.

4.3.5. Planos de toxicidad



Como se puede observar en estos resultados, la toxicidad será un valor crítico para garantizar la supervivencia a la altura de 2 metros, ya que se alcanza y supera el valor máximo de presencia de CO en la mitad de la superficie bajo el depósito de humos.

4.3.6. Capa de humos:

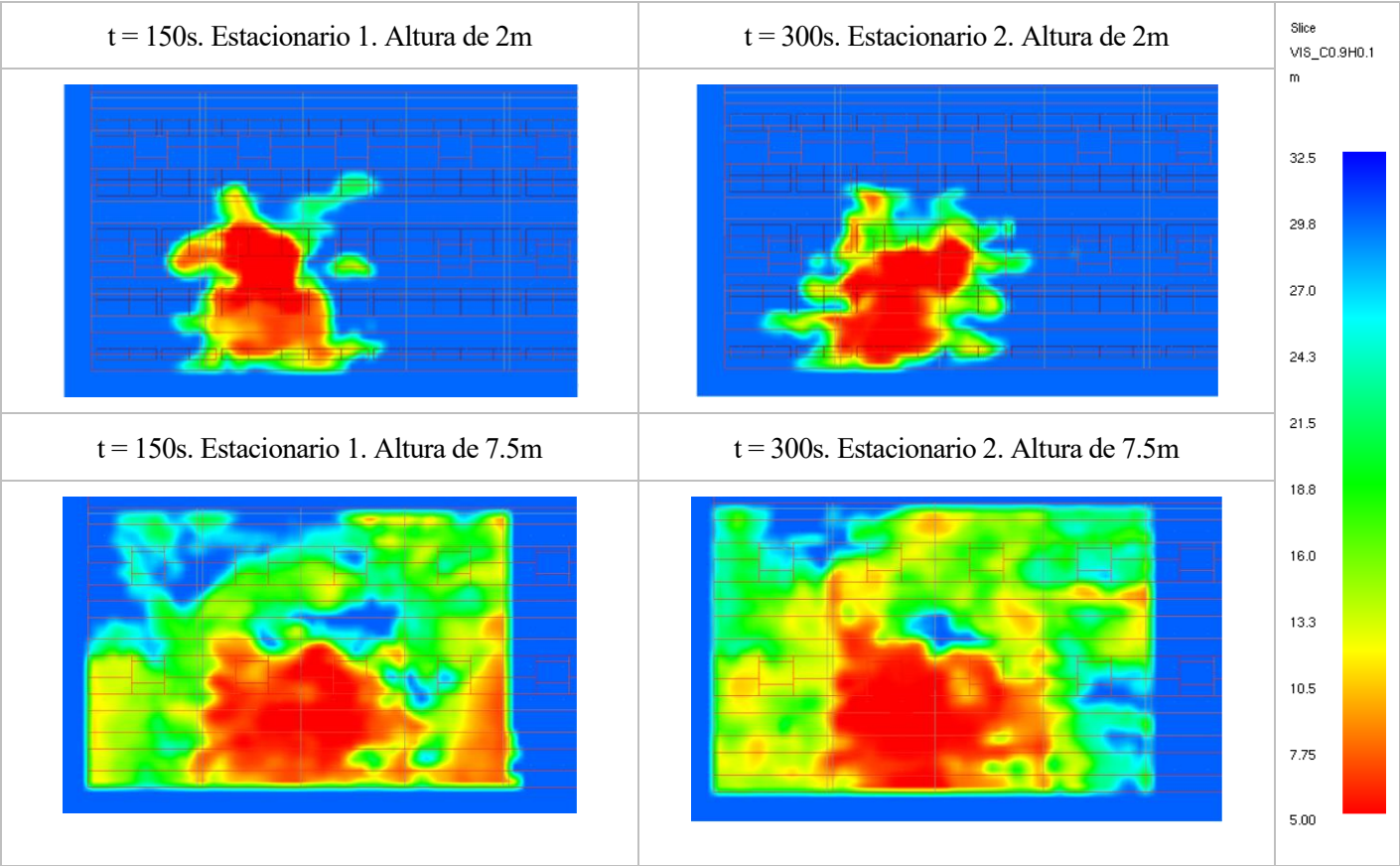


Al producirse la activación de un número mayor de rociadores que en el escenario 1, la caída de la capa de humos será mucho mayor.

4.3.7. Visibilidad a 2 y a 7.5 metros de altura:

Tal y como se observa en los resultados de la capa de humos, en los planos de visibilidad, se confirma la caída de gran parte de la capa de humos provocando que, en muchos puntos de la nave, la visibilidad sea inferior a los 15 metros, llegando, en puntos que se encuentran en torno al fuego y en el pasillo 1, hasta valores de visibilidad inferiores a 5 metros.

En cuanto a la visibilidad a la altura de 7.5m se ha detectado que la altura mínima de humos no se puede garantizar debido a las acción de los 6 rociadores activos que provocan una caída de la capa de humos en casi toda la superficie del depósito de humos.



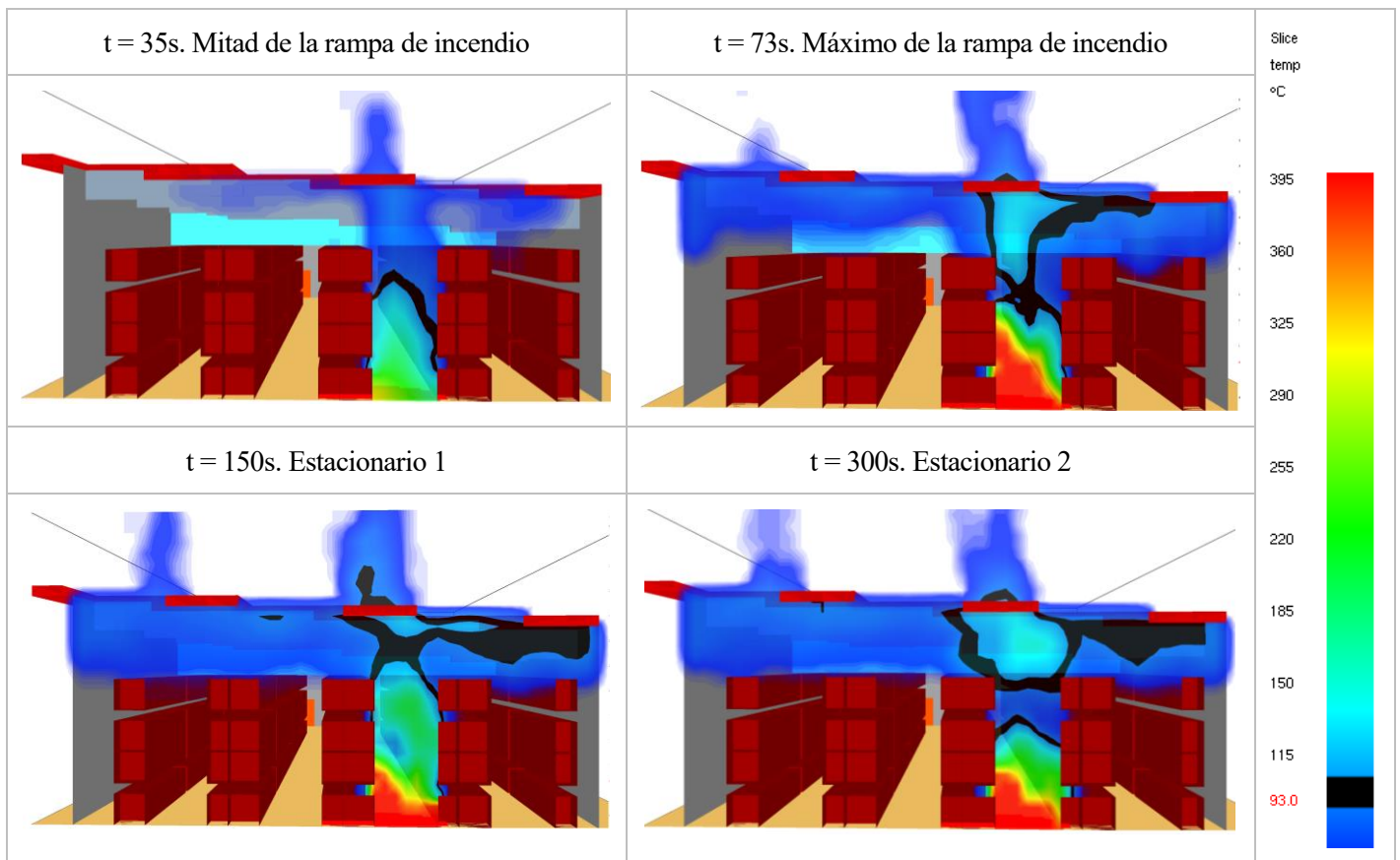
4.4. Escenario 3:

En este escenario se propone estudiar un incendio producido en la nave con un flujo de calor generado de 250 kW/m^2 . En este caso no se considerará la presencia de rociadores.

Este cambio en las condiciones de la simulación se traduce en un archivo de entrada idéntico al generado para el escenario 1, pero omitiendo las líneas de código contenidas en el apartado de rociadores.

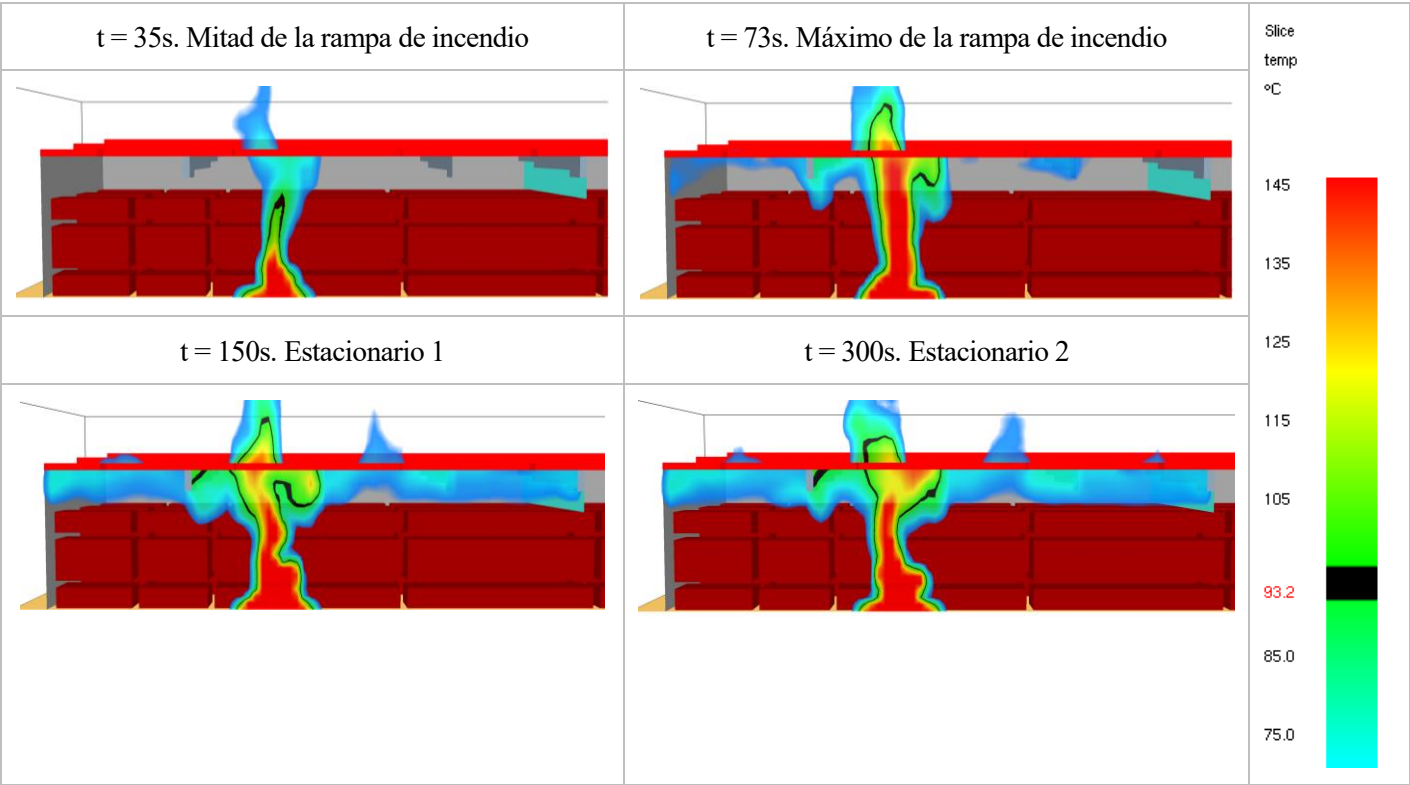
RESULTADOS

4.4.1. Temperatura en el plano x = 19:

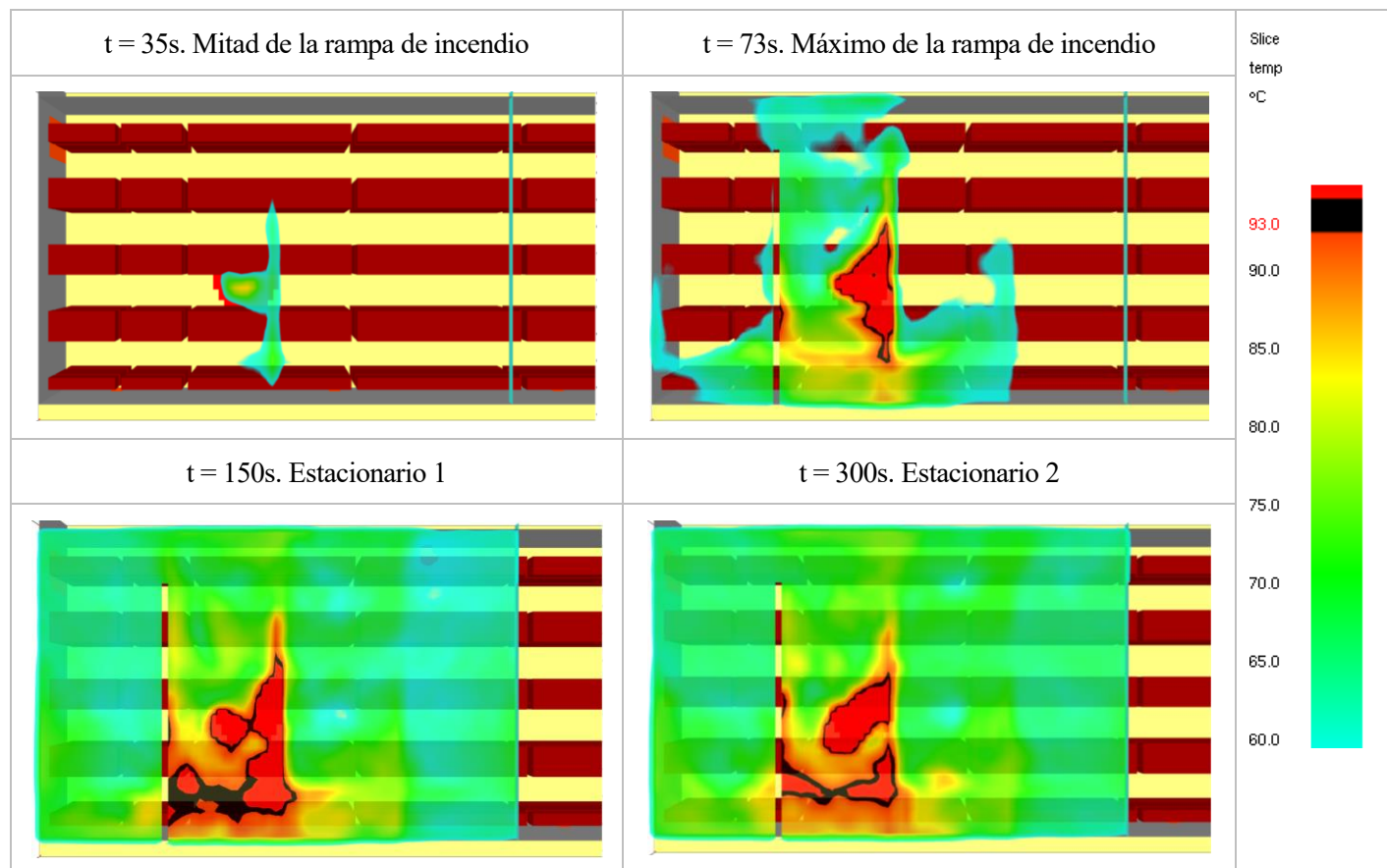


Se alcanza el régimen estacionario en el segundo 150, se puede observar como sería la evolución del incendio sin la presencia de rociadores y las diferencias en las temperaturas alcanzadas en los casos con y sin rociadores.

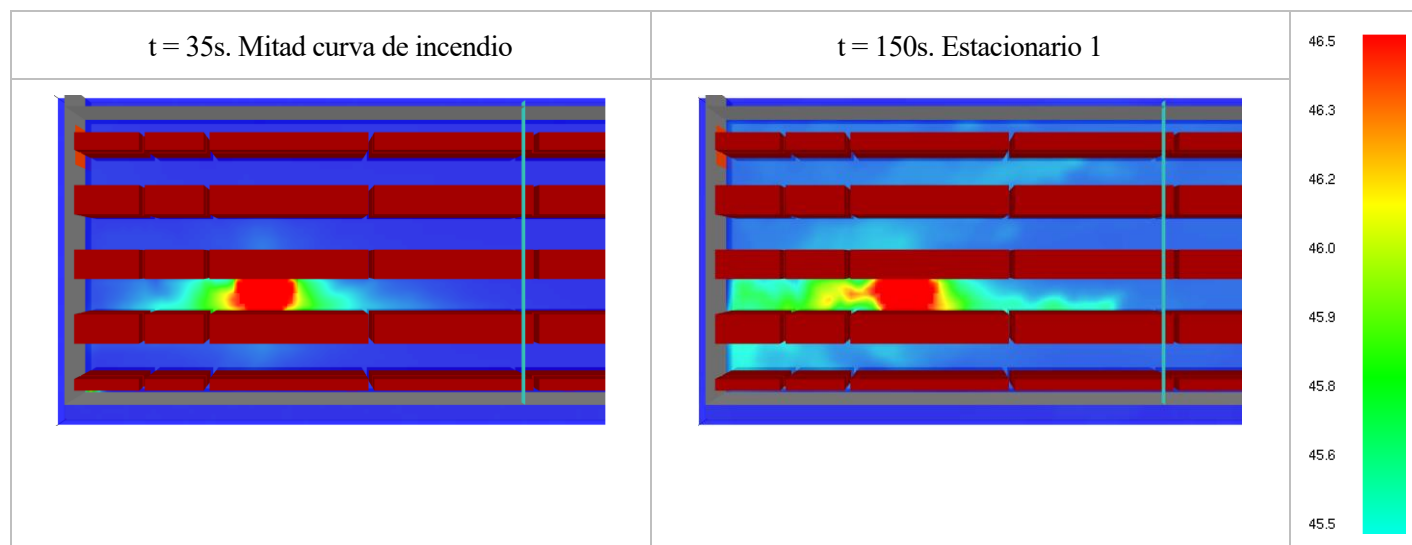
4.4.2. Temperatura en el plano y = 13:



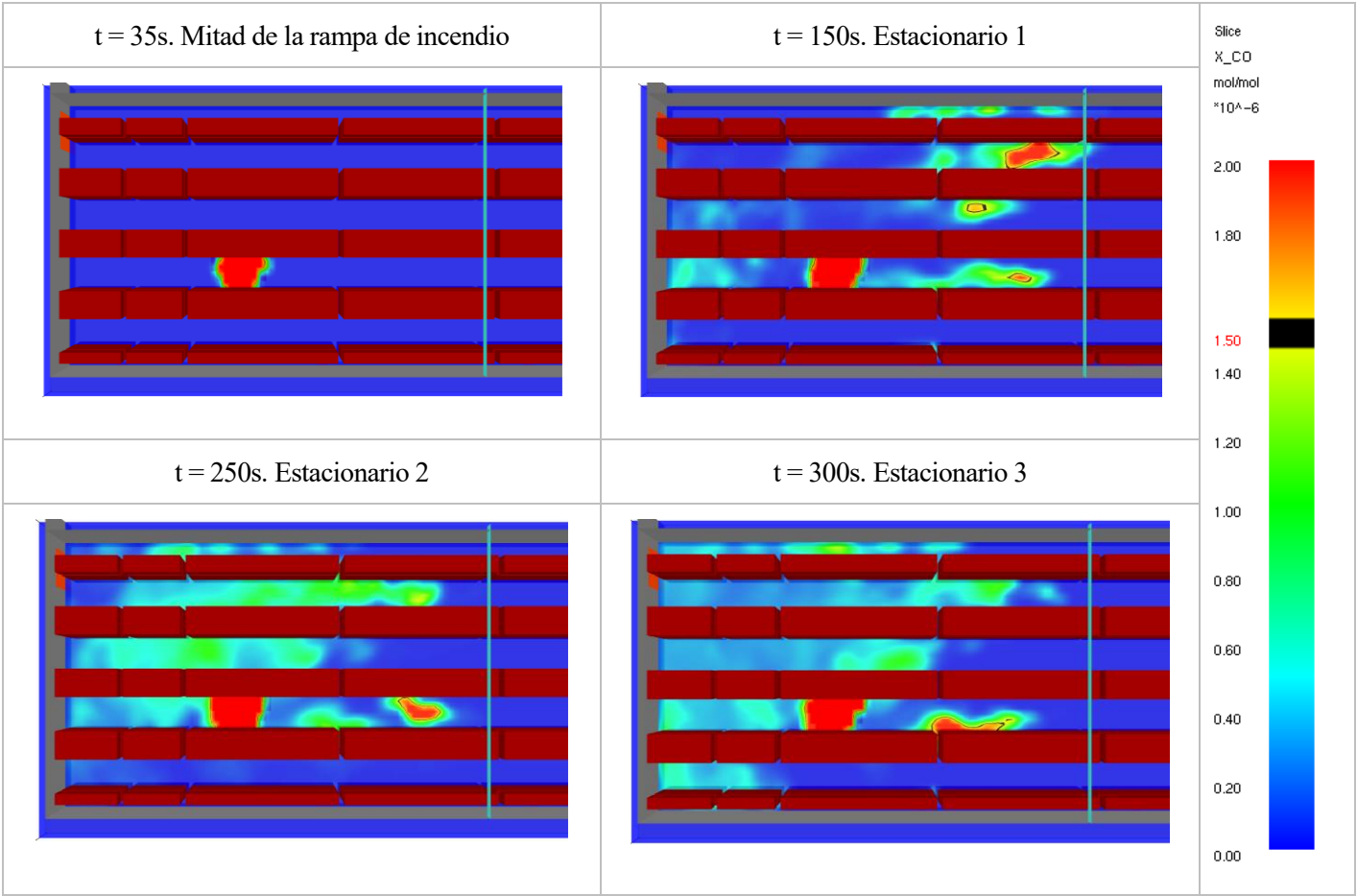
4.4.3. Temperatura en el plano $z = 9$:



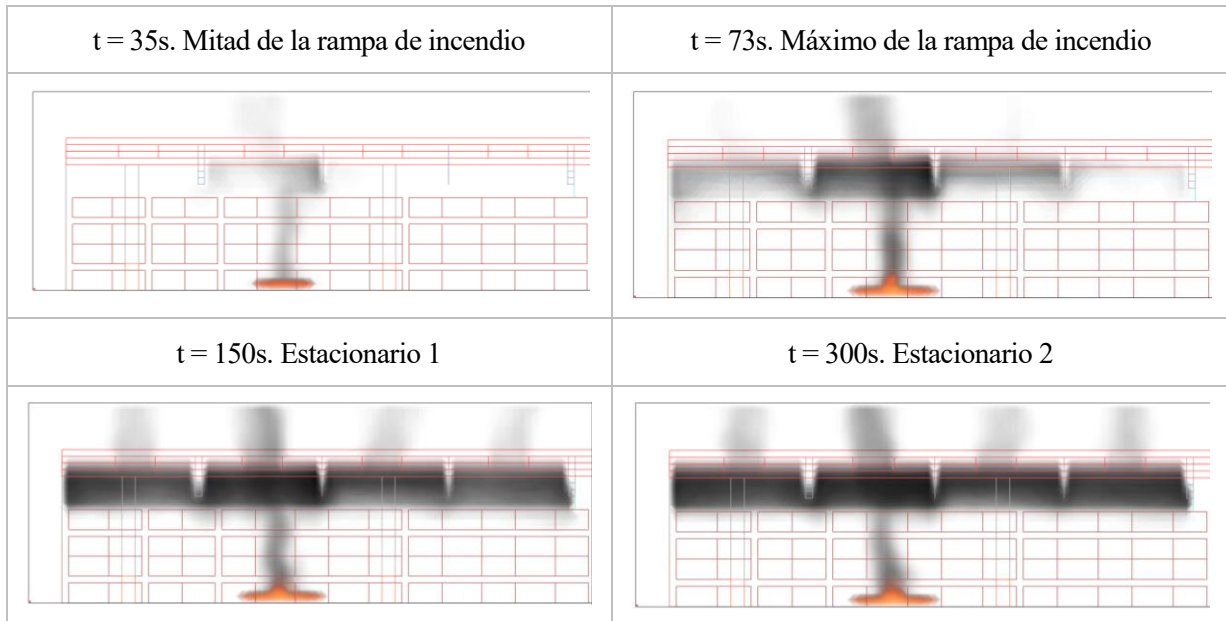
4.4.4. Temperatura en el plano $z = 2$:



4.4.5. Planos de toxicidad



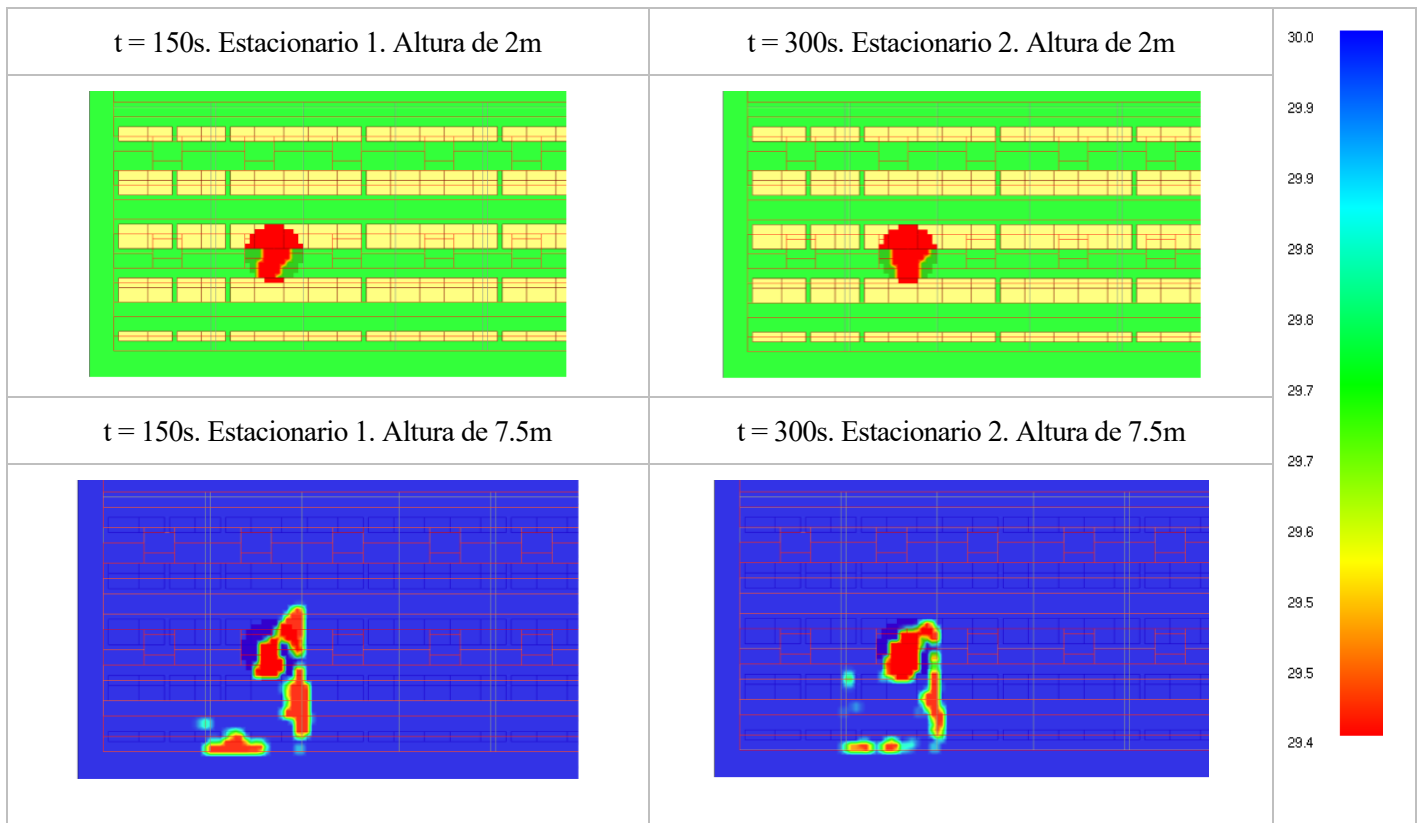
4.4.6. Capa de humos:



4.4.7. Visibilidad a 2 y a 7.5 metros de altura:

La visibilidad a una altura de 2 metros es superior a los 30 metros de visión que es el rango máximo en el cual se maneja FDS.

En cuanto a la visibilidad a la altura de 7.5m se han obtenido ya que así se puede observar en qué puntos la capa de humos traspasa el plano en $z = 7.5\text{m}$ que representaría la altura mínima de humos.



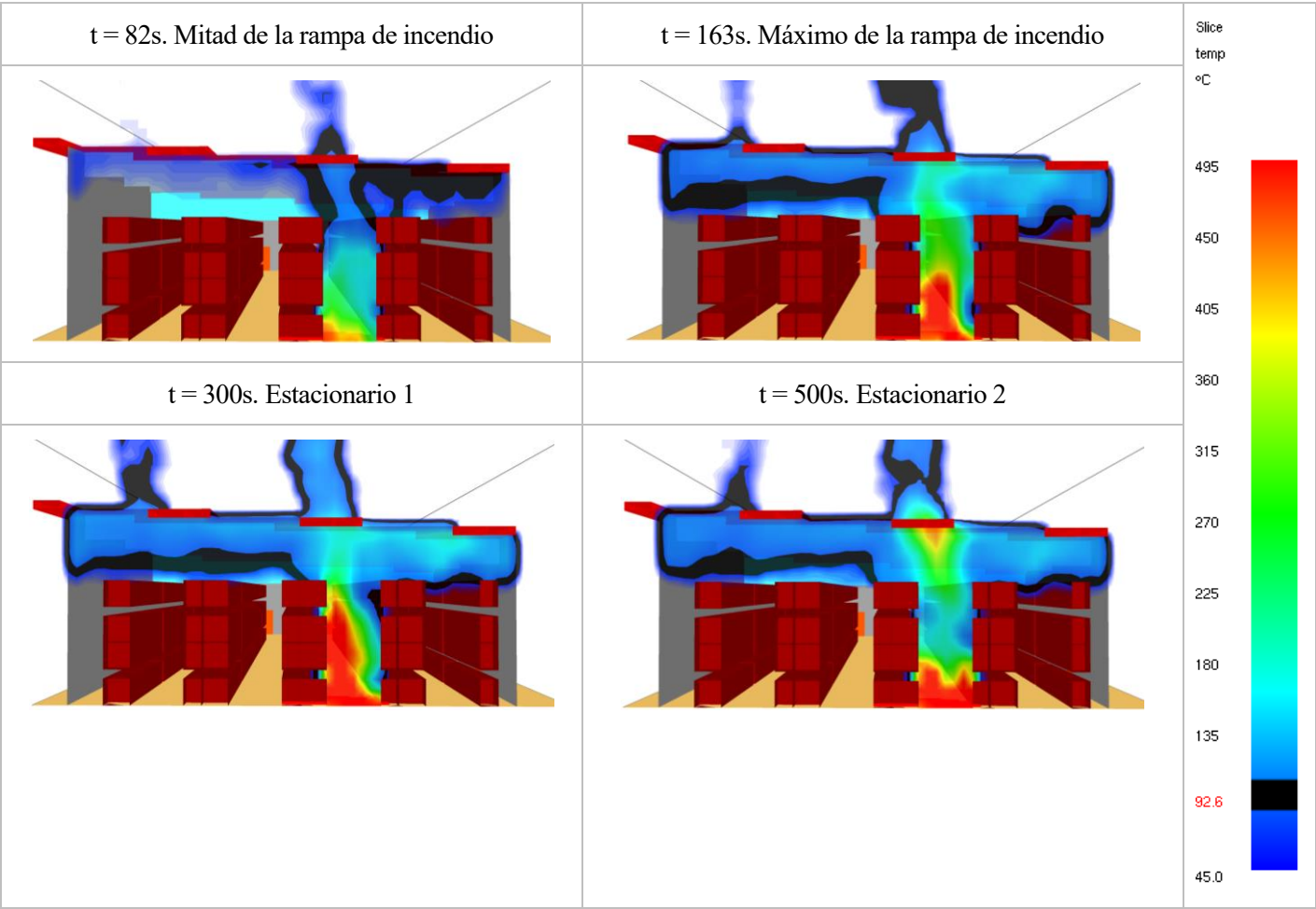
4.5. Escenario 4:

En este escenario, por último, se toma la condición de generación de calor con un valor de 1200 kW/m² y sin tener en cuenta la actuación de los rociadores.

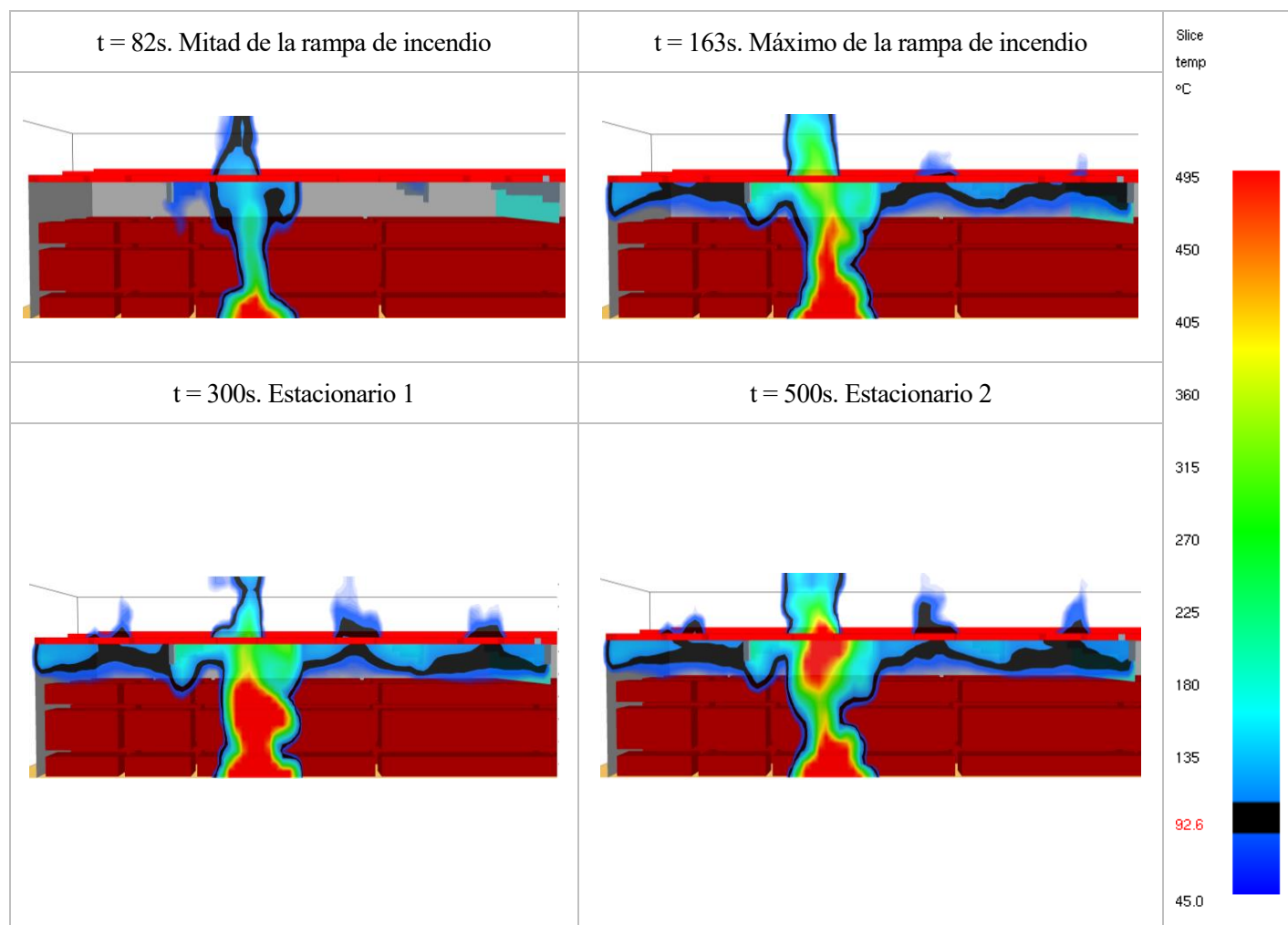
Dichas condiciones se traducen en el archivo de entrada con las mismas modificaciones que las realizadas en el caso de los escenarios 2 y 3.

RESULTADOS

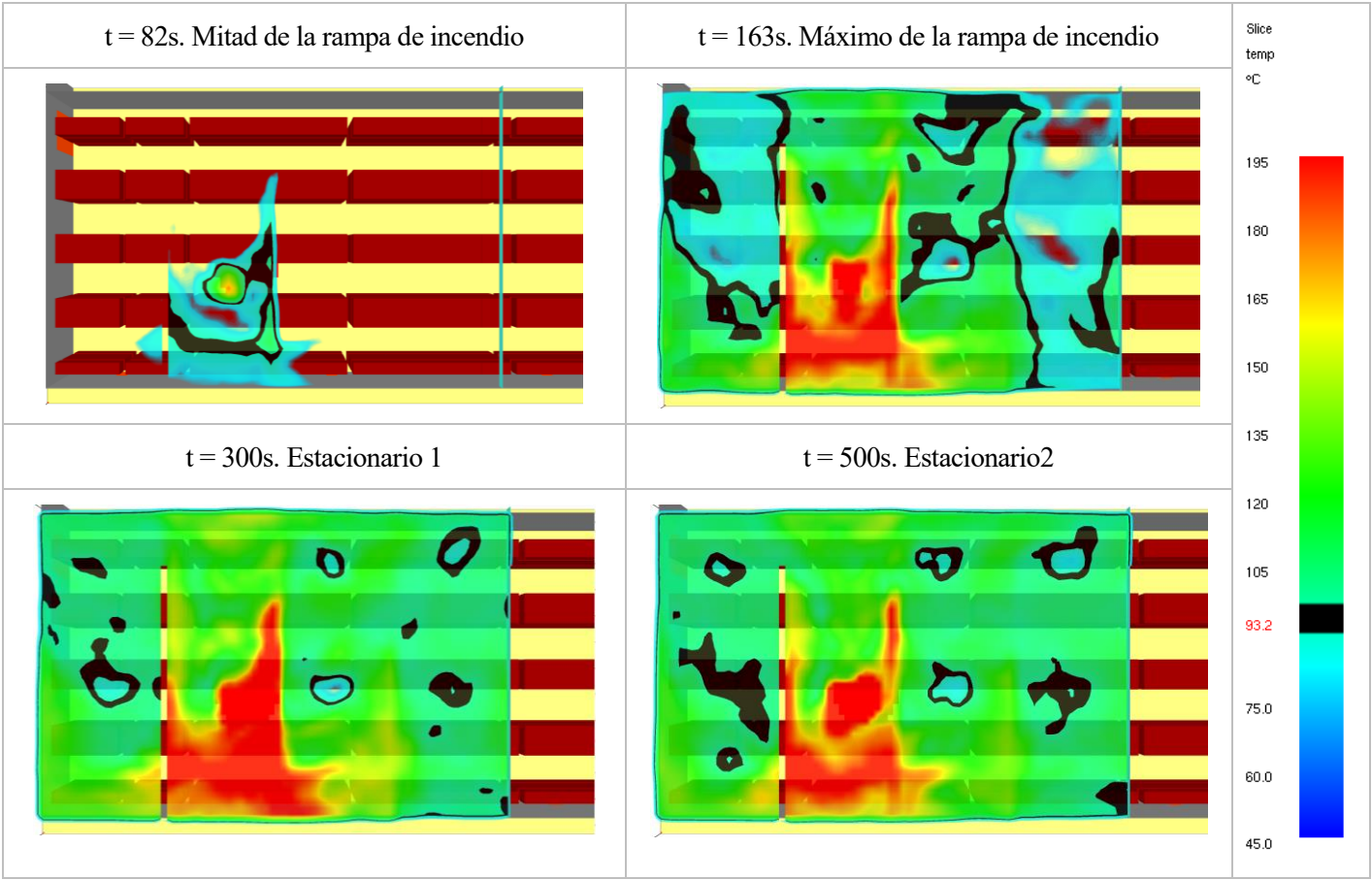
4.5.1. Temperatura en el plano x = 19:



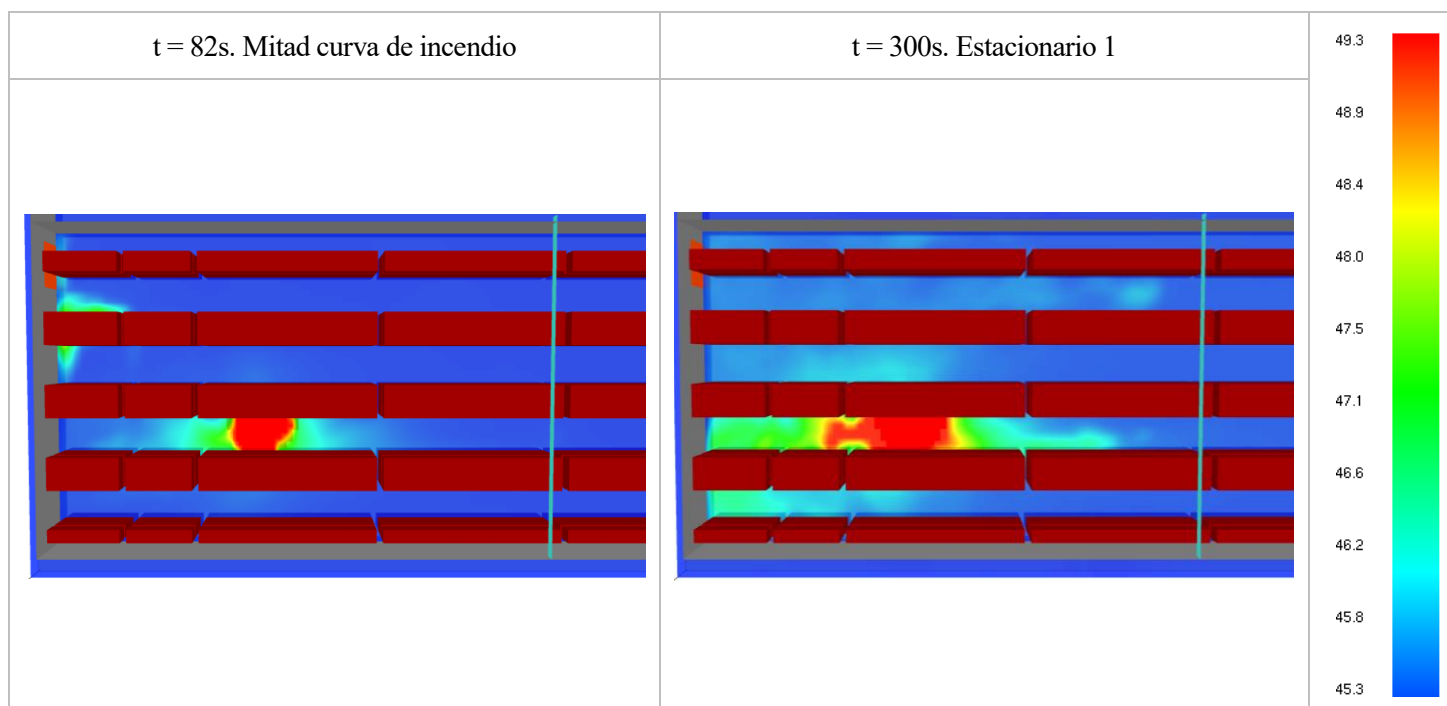
4.5.2. Temperatura en el plano y = 13:



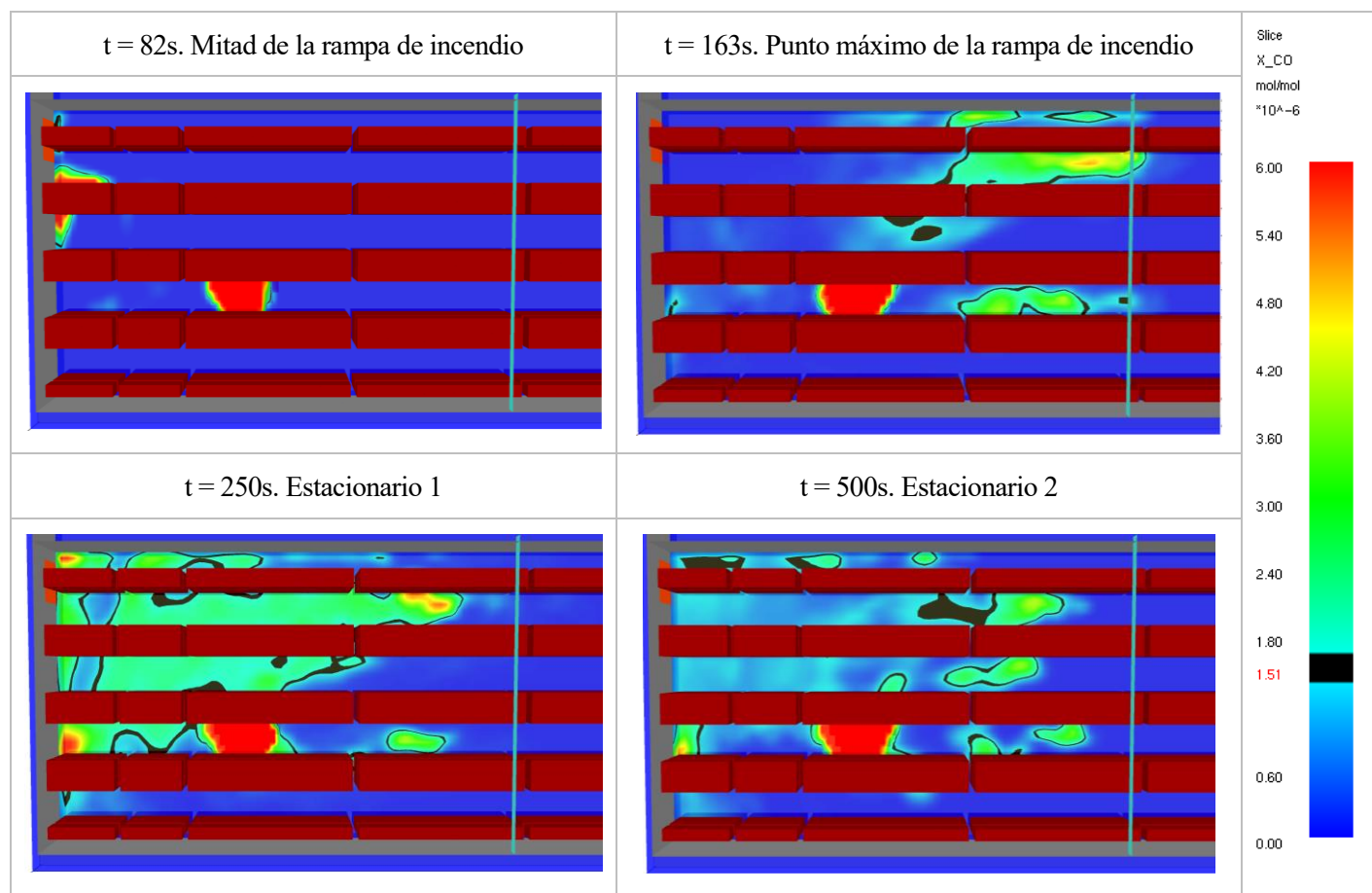
4.5.3. Temperatura en el plano z = 9:



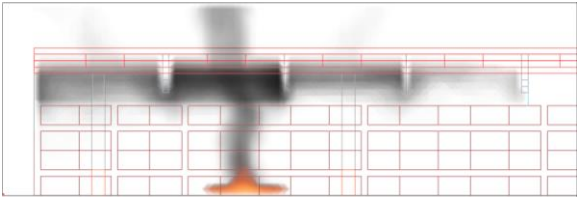
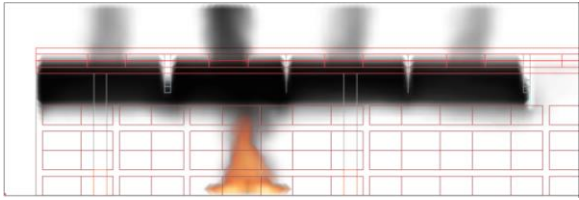
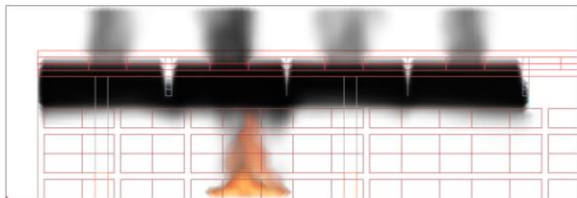
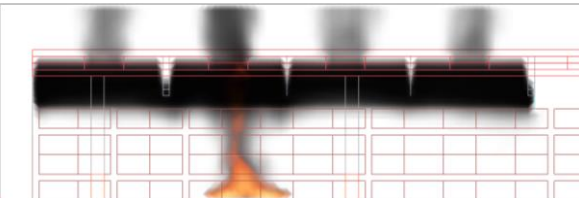
4.5.4. Temperatura en el plano z = 2:



4.5.5. Planos de toxicidad



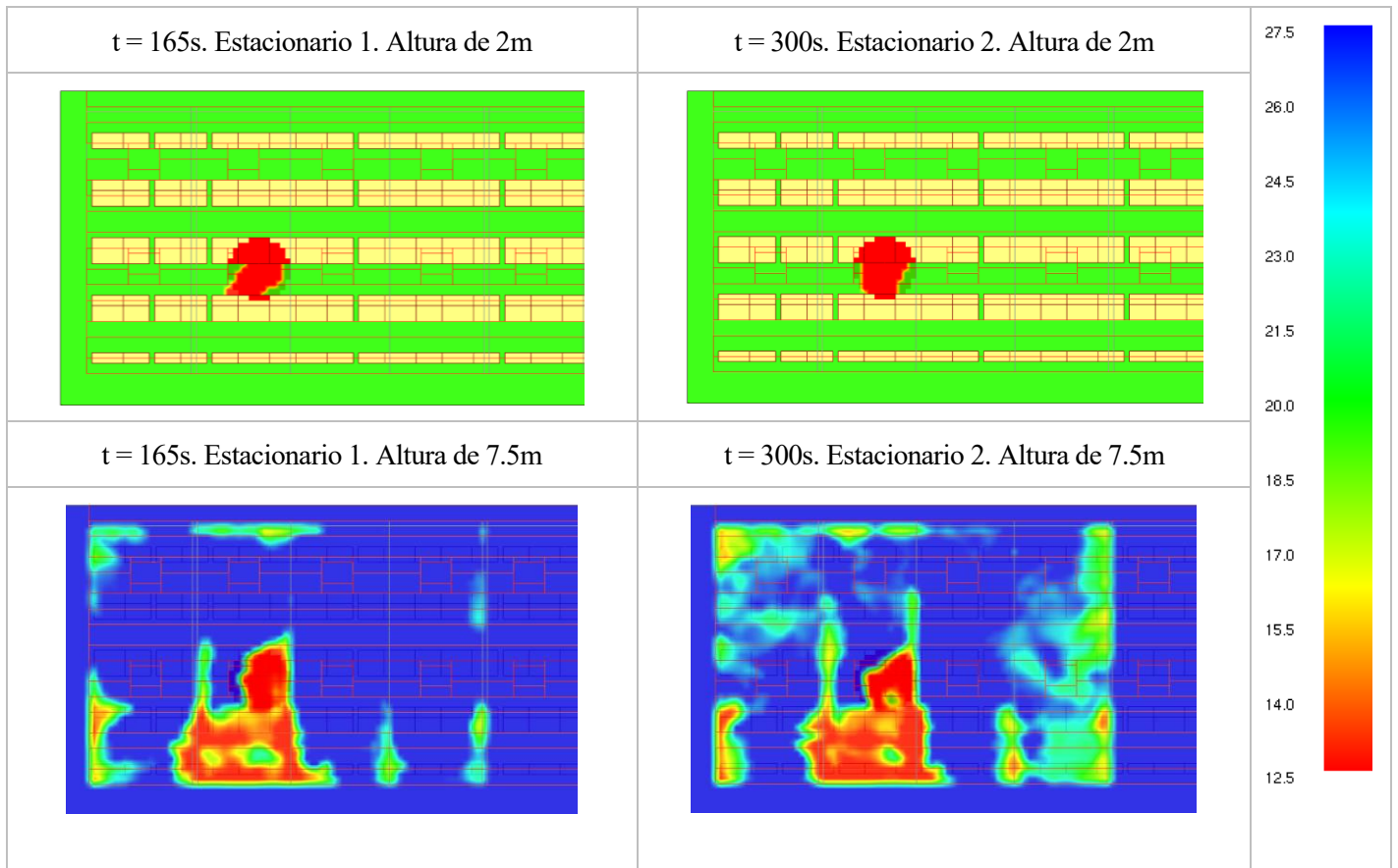
4.5.6. Capa de humos:

<p>$t = 82\text{s}$. Mitad de la rampa de incendio</p>  A 3D perspective view of a fire simulation. A fire source is located in the center of a room. A layer of smoke is visible, rising from the fire and spreading across the ceiling. The smoke is depicted as a dark, translucent volume. The room's structure, including walls and floor, is shown in a wireframe-like style with red lines.	<p>$t = 163\text{s}$. Máximo de la rampa de incendio</p>  A 3D perspective view of the same fire simulation at a later time. The smoke layer has grown significantly larger and more dense, covering a larger area of the ceiling. The fire source is still visible at the bottom center.
<p>$t = 300\text{s}$. Estacionario 1</p>  A 3D perspective view of the fire simulation. The smoke layer has reached a steady state, maintaining a consistent height and spread. The fire source remains at the bottom center.	<p>$t = 500\text{s}$. Estacionario 2</p>  A 3D perspective view of the fire simulation. The smoke layer is still present, showing a similar state to the previous snapshot, indicating a steady-state condition.

4.5.7. Visibilidad a 2 y a 7.5 metros de altura:

La visibilidad a una altura de 2 metros es superior a los 30 metros de visión que es el rango máximo en el cual se maneja FDS.

En cuanto a la visibilidad a la altura de 7.5m se han obtenido ya que así se puede observar en qué puntos la capa de humos traspasa el plano en $z = 7.5\text{m}$ que representaría la altura mínima de humos.

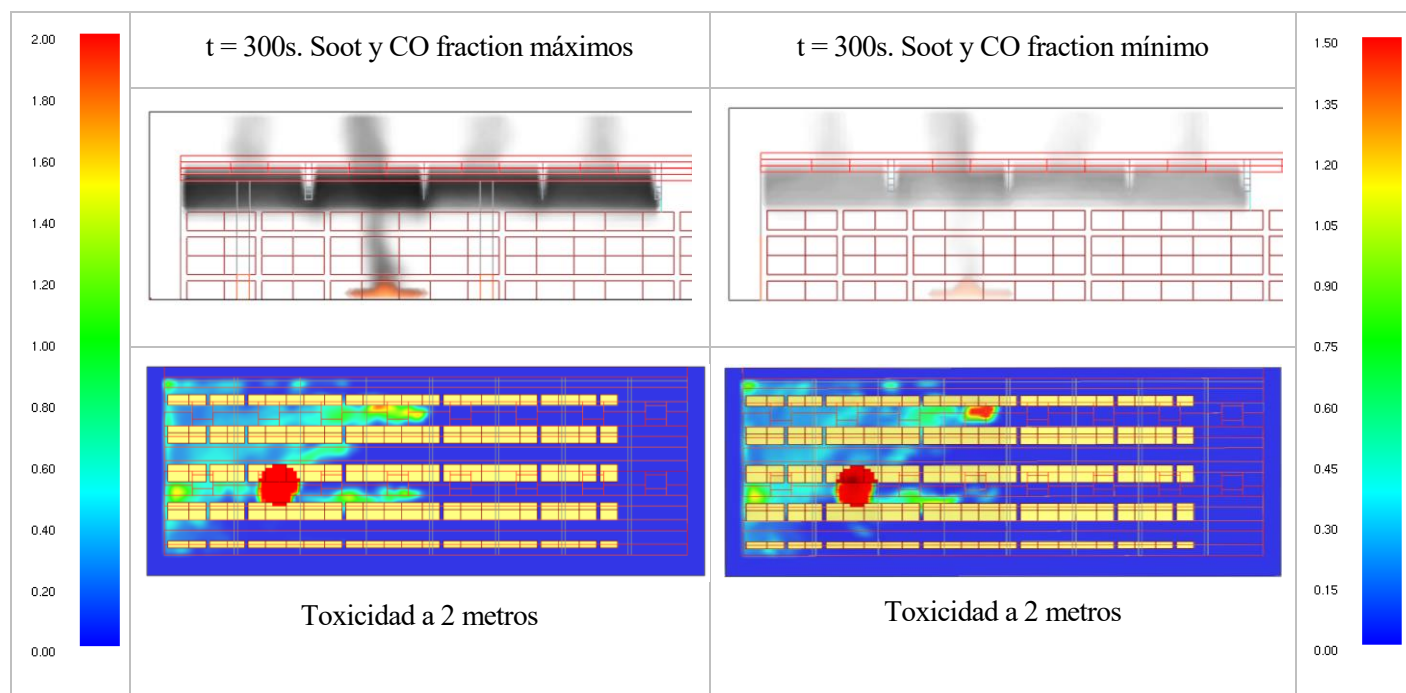


4.6. Escenario 5:

Este escenario es una modificación del escenario 3 con la cual se pretende observar la influencia que tienen las fracciones de conversión del combustible en humo y en CO sobre los resultados de la simulación.

Como en el caso genérico de estudio el valor de las fracciones de conversión es el más restrictivo, en este caso de comparación se ha decidido tomar los valores menos restrictivos de entre los valores que tienen cada uno de los combustibles (la conversión a humo pasa a ser de 0.0035 y la de CO pasa a ser de 0.09, que son los valores del alcohol etílico)

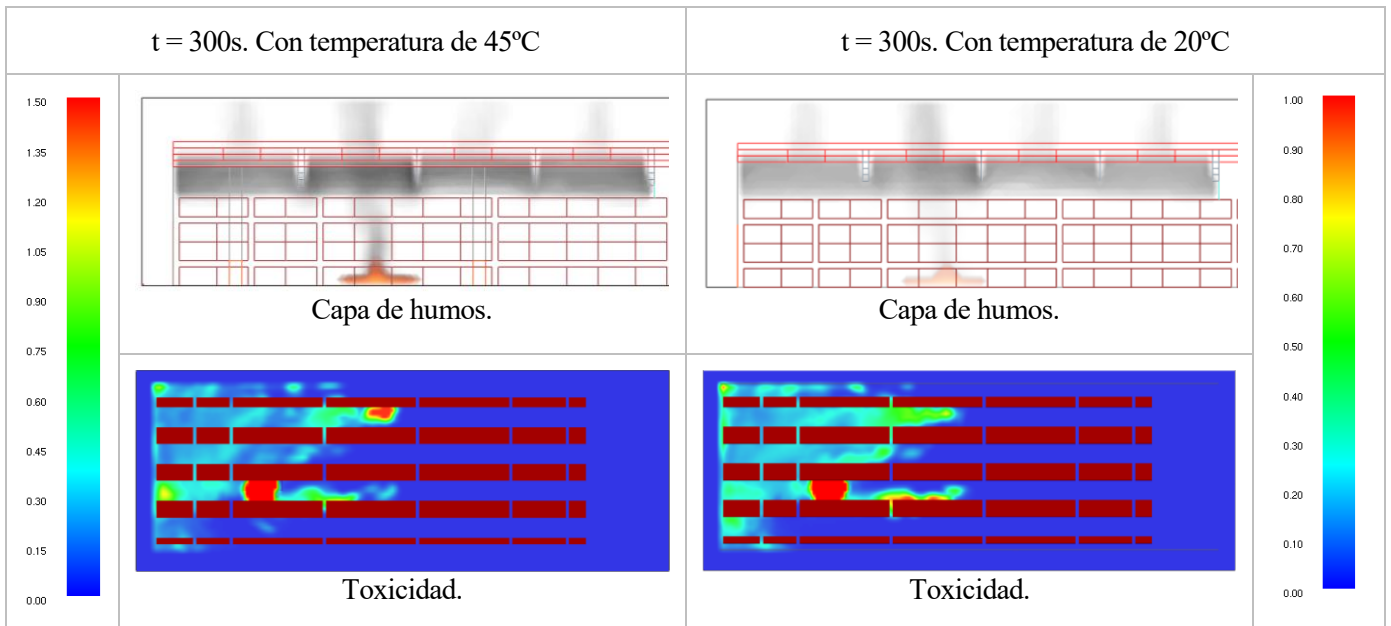
La comparación entre los escenarios 3 y 5 se muestra a continuación.



A partir de dichos resultados se puede justificar que la influencia de las fracciones de conversión es importante en los resultados obtenidos. La elección del valor de este parámetro puede llegar a ser crítica con respecto a la validación de un SCTEH, ya que, para ciertos valores podría cumplir los requisitos de seguridad y para otros no.

4.7. Escenario 6:

A modo de comparación, se ha creado este escenario. El código del escenario 3 (cambiándole únicamente el valor de la temperatura ambiente de 45°C a 20°C y de la humedad de 20% a 80%). En dicha comparación se puede observar como la diferencia de temperatura provoca que en el caso de 20°C el tiro sea mayor y por lo tanto se desaloja de forma más eficiente el humo; además, las temperaturas alcanzadas en la envolvente del incendio y en el aire del interior de la nave son mucho menores (debido también a la variación en la humedad). Se ha de destacar que, el modelo de incendio del modelo está calculado en función de una temperatura de 45°C, por lo tanto, en el caso de 20°C, el incendio tendría unas dimensiones menores, por ello, la diferencia entre ambos casos sería mayor aún si se tuviese en cuenta el modelo de incendio.



4.8. Influencia de los parámetros de FDS utilizados en la simulación:

La **resolución de la malla** es un parámetro importante a la hora de simular. Principalmente hay que tener en cuenta que, para mallas con un gran número de celdas, la capacidad de cálculo del ordenador puede verse superada y no ejecutarse correctamente la simulación. Hay que tener en cuenta que FDS calcula en cada punto de la malla todas y cada una de las variables con las que trabaja el programa (temperatura, presión, densidad, compuestos químicos, velocidad, aceleración, humedad...) en cada instante de la simulación. Es obvio concluir que, cuanto menor sea el tamaño de celda, mayor será el tiempo de cálculo, pudiendo llegar a bloquear la capacidad de cálculo de la computadora. Dicho bloqueo de la computadora depende de las características de ésta, pero, por lo general, para mallas con un número de celdas superior a los 4 millones, no será posible llevar a cabo la simulación.

Por otro lado, el **tamaño de celda** determinará también la resolución de la geometría a definir en la simulación, es decir, si el tamaño de celda impuesto es de 20 cm y queremos definir un cristal de un grosor de 2 cm, FDS automáticamente aproximará las dimensiones del objeto a la resolución de la malla; esto implica que, para un cristal de 2 cm, FDS lo dibujará como un cristal de espesor 0. Esto sólo es un problema para el caso en el que el espacio entre varios objetos se vea aumentado o disminuido. Las propiedades del material se imponen más adelante, donde se dará como dato el espesor del objeto y el programa usará dicho espesor, por ejemplo, para el cálculo de la conducción de calor.

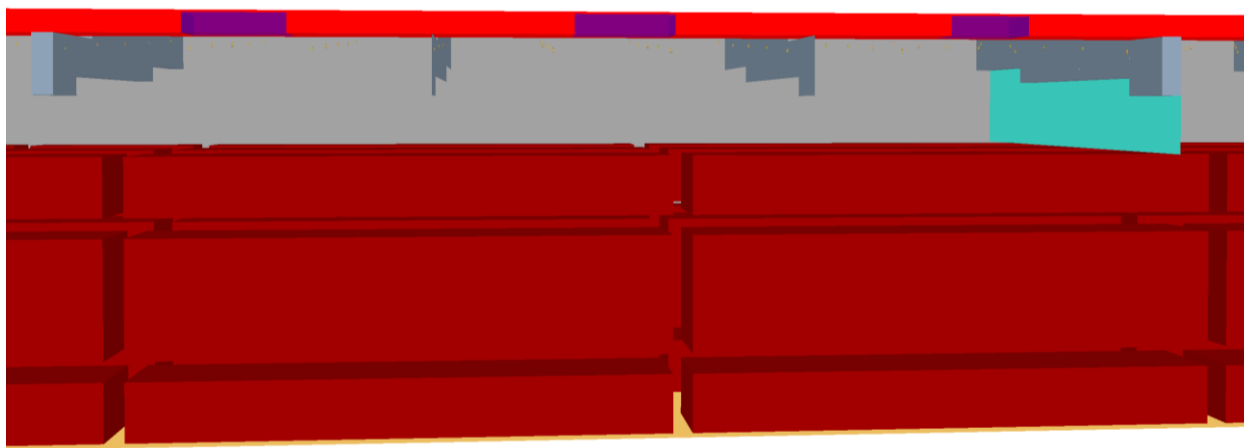


Ilustración 26. Conflicto en las dos vigas que se observan en medio de la ilustración.

El **paso de la simulación** también influye mucho al tiempo de cálculo de la simulación. FDS, por defecto, establece un intervalo de tiempo que será el paso de la simulación, de tal forma, que FDS realizará los cálculos (en cada uno de los puntos de la malla previamente definidos) cada x tiempo de simulación, siendo x igual al paso de la simulación. Es decir, que, para un mismo escenario, según sea menor el paso de la simulación, mayor será el tiempo de cálculo que habrá de emplear la computadora para simular.

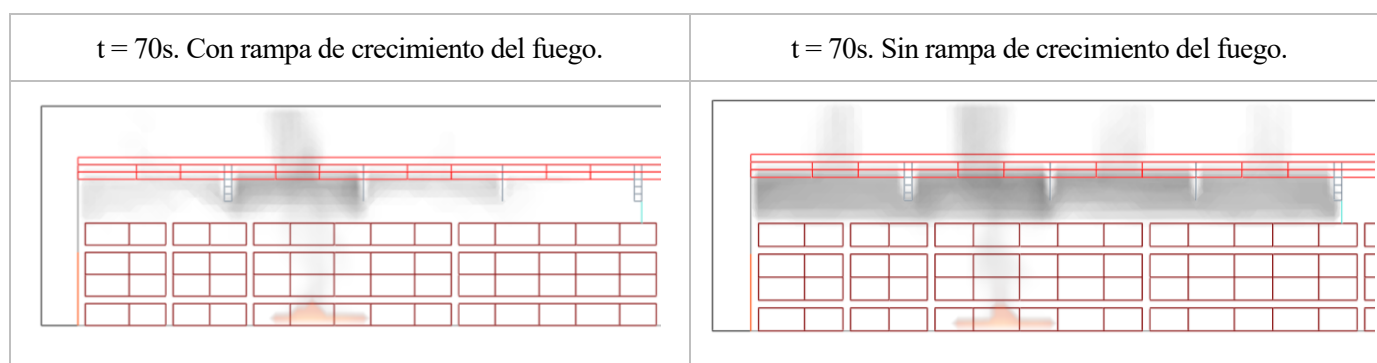
La principal diferencia entre cómo influye el tamaño de malla y cómo influye el paso de simulación en el tiempo de simulación es que el tamaño de malla puede llegar a bloquear la capacidad de cálculo de la computadora mientras que el paso de la simulación no bloqueará a la computadora. El paso de la simulación puede provocar que el tiempo de la simulación se alargue hasta valores muy grandes, pero no llegará a bloquear a la computadora.

El parámetro de **temperatura ambiente** es un parámetro bastante importante, el modelo siempre será sensible a su valor. La temperatura tendrá una gran repercusión en el movimiento del aire y del humo en el dominio computacional. Cuanto mayor sea la temperatura ambiental, menor será la diferencia de temperatura entre la

capa de humos y el aire que la rodea, por lo tanto, menor será el tiro. Esto implica que, a mayor temperatura ambiental, menor capacidad de desalojo del humo tendrá el SCTEH. Por ello, se decide calcular el área de salida de humos y realizar la simulación tomando como temperatura ambiente 45°C. Esta temperatura se ha obtenido como la temperatura media máxima por hora en la ciudad de Sevilla.

Los valores de la **humedad y la presión** del ambiente también son influyentes en el desarrollo de la simulación. En el caso de la humedad, a mayor humedad, menor será la temperatura alcanzada en el entorno del incendio. La humedad, al fin y al cabo, es vapor de agua que hay presente en el ambiente, es decir, representa la cantidad de agua en estado gaseoso que hay en el ambiente. Dicha presencia de agua implica que habrá una absorción de calor. Como es lógico pensar, cuanto más seco sea el ambiente (menor humedad) mayor serán las consecuencias del incendio, por ello, en el caso de estudio se toma un valor de la humedad típica mínima en la ciudad de Sevilla y así cubrir el caso más desfavorable. En lo que respecta a la presión, cuanto mayor sea ésta, mayores serán las consecuencias del incendio. Hay que resaltar que la influencia que la variación de la presión tendría en el modelo es despreciable frente a la influencia de la humedad y la temperatura ambiente.

Las diferencias que conlleva la representación del **incendio** como una evolución de una curva de calor o como una función constante es bastante grande. En el primer caso, el humo se va generando de manera creciente, de tal forma que “da tiempo” a que se genere una circulación de aire en el interior de la nave y en el entorno de ésta de tal forma que, una vez se ha alcanzado el punto máximo de generación de calor, que corresponde con el punto de máxima generación de humo, ya hay un flujo de aire que fuerza el movimiento del humo hacia el exterior de la nave. Esta situación es beneficiosa para la extracción de humos y, además, se adapta mejor a la realidad de un incendio.



En cuanto a los parámetros relacionados con la combustión:

- La **fracción de conversión de combustible en humo** es un parámetro muy influyente en los resultados de la simulación. Hasta tal punto que para pequeñas variaciones en su valor el SCTEH, diseñado y simulado en FDS, puede pasar de garantizar una altura de humos correcta a no cumplirla. Por lo tanto, será un parámetro cuya elección se ha de realizar teniendo especial cuidado y buscando la máxima precisión para acercarse a la realidad. En el caso de estudio se ha decidido tomar el valor más crítico para el desarrollo del incendio, se ha tomado la fracción de combustible de mayor valor (que es la de la madera con un valor de 0.015) para así garantizar una simulación que se pone en el peor de los casos posibles. La conversión de humo será dependiente de la cantidad de cada tipo de reactivo que estén reaccionando.
- Para el caso de la **fracción de conversión de CO** ocurre lo mismo que para la del combustible. Su influencia en el modelo es muy grande para pequeñas variaciones. Esta influencia es crítica en el caso del contenido de CO en el ambiente durante el desarrollo del incendio, pudiendo llegar a provocar que no se garanticen las condiciones de supervivencia. También se ha querido tomar el valor más restrictivo de dicha fracción para el caso de estudio (que es la del cartón con un valor de 0.12).

El **material de la envolvente** del incendio es un factor importante en el desarrollo de éste, sobre todo debido a que FDS, por defecto, considera que los objetos de la simulación son inertes. Al darle propiedades a los materiales que rodean el incendio, en el modelo simple, se produce la absorción de calor por dichos objetos y obstáculos, así como la conducción de calor a través del espesor de dichos obstáculos. En el caso de haberse

realizada la simulación con el modelo de pirolisis, además de absorber calor y conducirlo, los materiales podrán empezar a arder, siguiendo el modelo de pirolisis que utiliza FDS para la propagación del fuego.

Otro de los factores a tener en cuenta es la **apertura del dominio** computacional al ambiente. FDS considera, por defecto, que el dominio computacional (la malla) se trata de un paralelepípedo de dimensiones dadas en el cual sus planos extremos son paredes, es decir, considera que no hay flujo de materia a través de las fronteras de la malla ni tampoco hay influencia de los valores a un lado y al otro de la frontera de la malla (temperatura, presión...). Para evitar esto, se han de abrir dichas paredes, permitiendo que pueda haber un flujo de materia a través del dominio computacional y haya influencia entre las condiciones a uno y otro lado de las fronteras. La apertura de dicha “caja de zapatos” es muy importante a la hora de simular, FDS considerará condiciones atmosféricas más allá del dominio computacional y permitirá que el humo pueda ascender más allá de la cota z máxima del dominio computacional y pueda haber flujo de aire a través de los límites de la malla.

La presencia de las **estanterías** en el modelo de estudio es muy importante, provocan una canalización del flujo de aire y humo dentro de la nave y, a su vez, absorben el calor producido por el incendio. Se caracterizan los materiales de las estanterías dándoles los valores al igual que en el caso del resto de la envolvente.

La presencia de **rociadores** es una de las condiciones de simulación más conflictivas para el modelo de incendio escogido. Como se ha comentado en apartados anteriores, los rociadores presentes en la nave son rociadores de supresión. Debido a esto, la cantidad de agua que se introduce en el escenario por dichos rociadores es considerable. El principal problema radica en que el modelo de incendio utilizado es el modelo simple de FDS, este es el modelo recomendado para iniciarse en la simulación con FDS. Dicho modelo implica que el fuego es simulado como si se tratase de un “charco” de combustible infinito, es decir, el fuego “saldrá” siempre por una superficie, con una potencia calorífica por unidad de área determinada. Por ello, los rociadores pierden la capacidad de suprimir el fuego ya que, por mucha agua que echen, el fuego seguirá produciéndose a través de la superficie con una potencia calorífica determinada.

Los escenarios estudiados se pueden clasificar en dos tipos de modelos: el primero de ellos es el modelo con rociadores (escenarios 1 y 2) y el segundo es el modelo sin rociadores (escenarios 3 y 4). Tal y como se ha comentado, la influencia de los rociadores en el desarrollo del incendio es crítica, pero al utilizar el modelo simple de incendio de FDS se está condicionando a que los rociadores no consigan extinguir el incendio. Es importante ser consciente de esto, ya que las conclusiones obtenidas de las simulaciones dependerán de esto.

En las simulaciones con rociadores se ha de tener en cuenta que el régimen estacionario alcanzado no es válido ni cercano a la realidad. En concreto, lo que se espera que ocurra en el caso real es lo siguiente:

- Las primeras fases del incendio serán parecidas a las simuladas por FDS, es decir, los rociadores se irán abriendo de manera gradual según pase el tiempo y se vaya recorriendo la curva de incendios.

- Una vez se haya alcanzado el máximo de la curva de incendio, la temperatura en el interior de la nave seguirá aumentando y se seguirán activando los rociadores. Cada nuevo rociador activado provocará una mayor absorción del calor producido por el incendio y, con el paso del tiempo, se irá rebajando la temperatura en torno al incendio.

- Llegará un instante en el cual el fuego se verá disminuido por el constante aporte de agua de los rociadores, que continuarán echando agua hasta que el fuego se extinga por completo.

Tomando este modelo de extinción por parte de los rociadores, se puede llegar a las siguientes **conclusiones relacionadas con los rociadores y su repercusión**:

- La disminución de la temperatura observada en los escenarios en los cuales hay rociadores es bastante adecuada a la realidad.

- La simulación es bastante cercana a la realidad hasta antes de llegar al régimen estacionario. El número de rociadores que se activarán en la realidad serán los mismos o menos que en los activados en la simulación, ya que, en la realidad los rociadores ayudarán a disminuir la intensidad del incendio.

· La caída de la capa de humos provocada por los rociadores se producirá en la realidad. Teniendo en cuenta que, a partir de cierto instante, la curva del incendio empieza a decrecer, por causa de los rociadores. Es decir, sí, los rociadores provocarán la caída de parte de la capa de humos, pero el volumen de humos fríos que descienden será mucho menor que en los resultados obtenidos de las simulaciones.

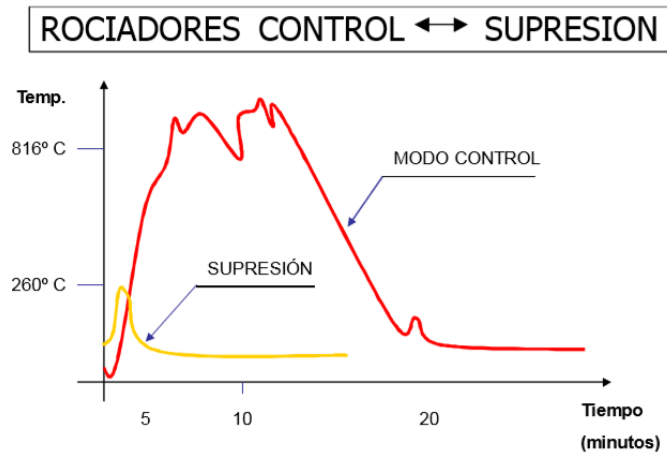


Ilustración 27. Curva de evolución del fuego.

4.9. Conclusiones generales:

4.9.1. Entradas

En resumen, los parámetros de entrada¹¹ de FDS que definen los distintos escenarios son:

Tabla 8. Resumen Escenarios simulados.

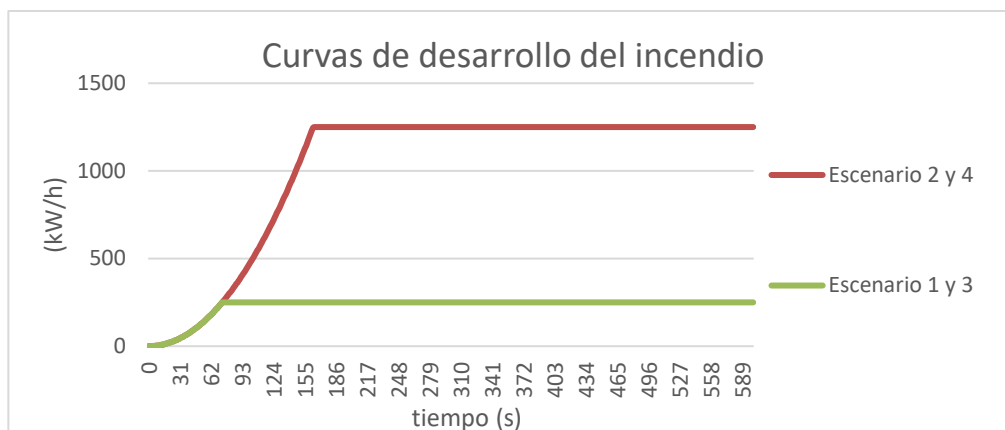
Escenarios	Potencia Calorífica generada. [kW/h]	Fracción de Conversión de Humos	Fracción de Conversión de CO	Tª y humedad ambiental [°C], [%]
1	250	0.015	0.12	45, 20
2	1250	0.015	0.12	45, 20
3	250	0.015	0.12	45, 20
4	1250	0.015	0.12	45,20
5	250	0.0035	0.09	45,20
6	250	0.015	0.09	20, 80

Como parámetros invariantes más importantes entre los distintos escenarios se tienen:

Tabla 9. Parámetros con valores fijos.

Instante de apertura de los exutorios (s)	15
Reacción química del combustible	$C_3H_6 + C_6H_{10}O_5 + C_2H_6O + \frac{27}{2} O_2 \rightarrow 11CO_2 + 11H_2O$
Tiempo de simulación (s)	600

¹¹ Los más importantes.



4.9.2. Salidas

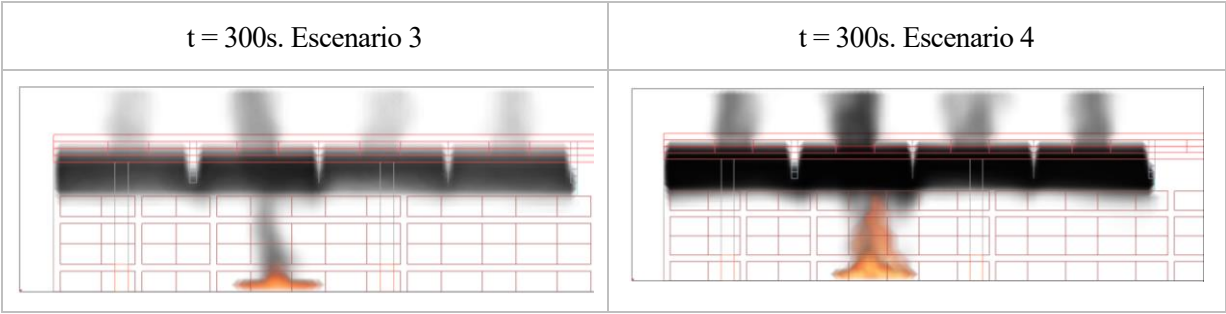
Tabla 10. Resumen de resultados obtenidos.

Factores de influencia	250 vs 1250 kW/h	Con vs sin rociadores	Fracciones de conversión de CO y humo	Temperatura y humedad ambiental
Escenarios comparados	1 vs 2 // 3 vs 4	1 vs 3 // 2 vs 4	3 vs 5	3 vs 6
Temperatura	Aumenta con el aumento de HRR. (1)	Aumenta cuando no hay rociadores. (2)	No afecta	Aumenta con la T_{amb}^{a} mayor y la humedad menor.
Volumen de humos	Aumenta con el aumento de HRR. (3)	Sólo se mantiene por encima de la altura libre de humos para el caso sin rociadores. (4)	Disminuye cuando disminuyen las fracciones. (5)	Disminuye con menor T_{amb}^{a} y mayor humedad. (6)
Toxicidad	No afecta	No afecta	Disminuye a menor fracción de conversión. (7)	No afecta

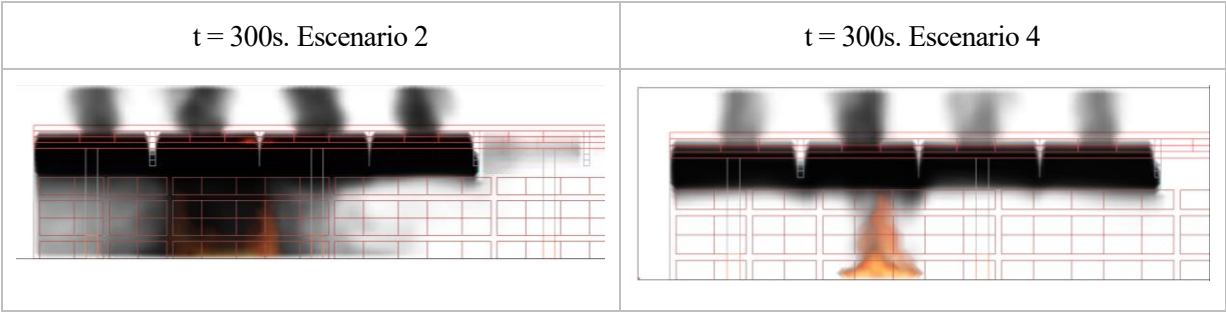
(1). Tanto para el caso de aumentar la potencia calorífica para escenario con rociadores como para escenario sin ellos, la temperatura aumenta. En concreto cerca de la cubierta, la temperatura pasa de unos 70°C a los 100°C cuando el incendio se encuentra en régimen estacionario. El penacho de humos pasará a tener una temperatura de 180°C, frente a los 100°C alcanzados en el caso de HRR = 250kW/h.

(2). La ausencia de rociadores provoca un aumento muy importante de la temperatura en la nave, que pasa a ser de 150°C aproximadamente en vez de 70°C como en el caso con rociadores (temperatura en la cubierta).

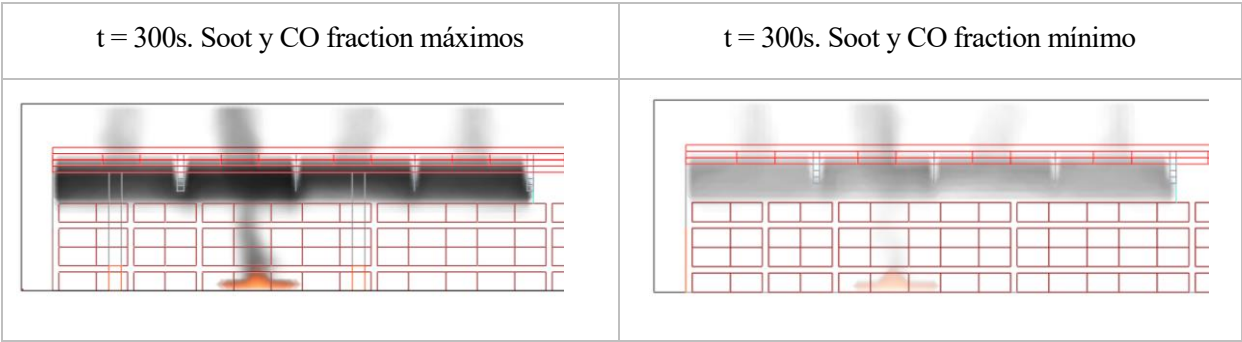
(3). El aumento de HRR viene provocado por el aumento del volumen de combustible consumido por unidad de tiempo, esto implica que, a igual fracción de conversión de humos, el volumen de humos generado por unidad de tiempo será mayor. Se puede observar como la opacidad de la capa de humos es mucho mayor en el caso de HRR mayor.



(4). La presencia o ausencia de rociadores es muy determinante en el estado de la capa de humos durante el desarrollo del incendio. Tanto para el caso de HRR 250 kW/h como para el de 1250 kW/h, la presencia de rociadores provoca que parte de los humos se enfríen provocando su descenso a cotas inferiores a la altura libre de humos calculada. En el peor de los casos simulados, en el escenario 2, se puede observar como la capa de humos ha descendido hasta nivel suelo en el área¹² circundante del incendio. Con lo cual se puede asegurar que la evacuación en el resto del edificio será segura.

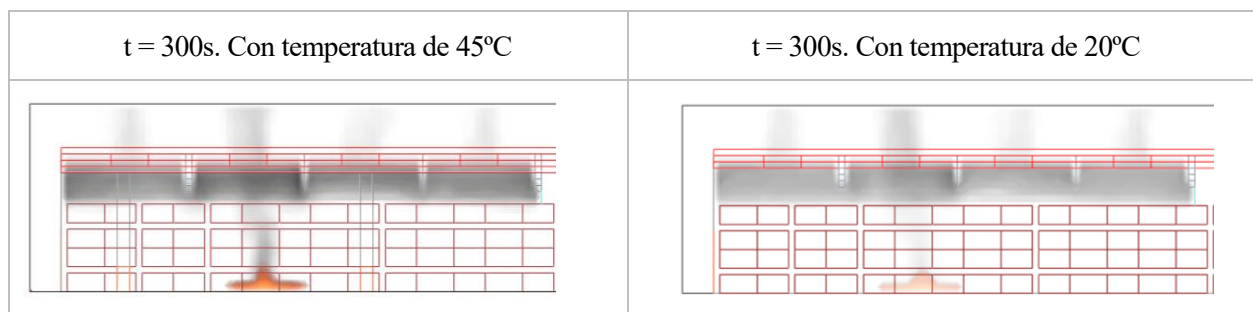


(5). Ver escenario 5

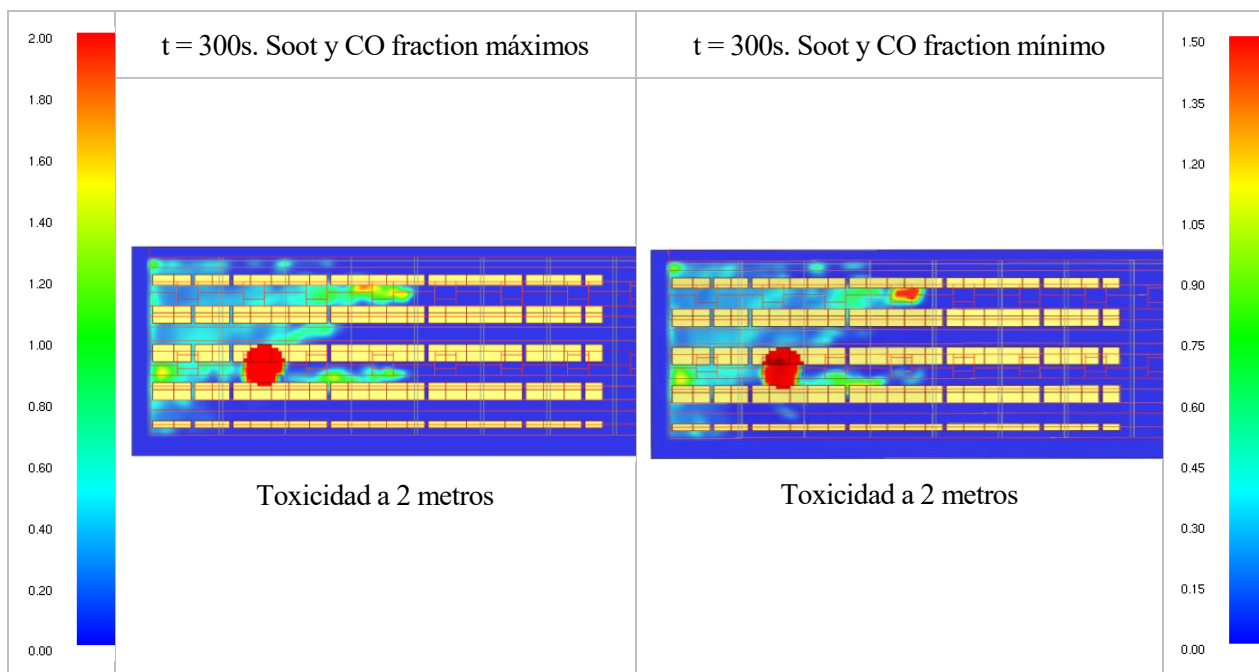


(6). Al disminuir la temperatura del ambiente, la diferencia de temperaturas entre el aire del entorno y la capa de humos será mayor, este mayor gradiente de temperaturas facilita el flujo natural del humo que saldrá por los exutorios al exterior.

¹² Área de 40 m² en torno al incendio.



(7). Ver escenario 5



ANEXOS

I. CÁLCULO DE SUPERFICIE DE SALIDA DE HUMOS

I.1. Datos.

Partiendo de la geometría de la nave y de sus características, así como de las condiciones ambientales del entorno, se pasa a resolver el problema de diseñar el área de salida de humos. Para ello se diseñará siguiendo la normativa correspondiente.

Se toman como datos iniciales:

- Dimensiones de la nave: longitud ($L=66.24$ metros) y anchura ($W=24.54$ metros), a partir de los cuales se obtiene que la superficie de la nave es de $S=1625.53 \text{ m}^2$.

Según la norma UNE 23585, en su apartado 6.6.2.8.: “la máxima longitud de cualquier depósito de humos a lo largo de su eje mayor debe ser de 60m ”. Con ello, se ha de tener en cuenta la necesidad de tener, como mínimo, dos depósitos de humos ($n=2$).

- Características del SCTEH que se desea instalar: altura media de los exutorios ($h_m=10.78$ metros).

- Valores del entorno: temperatura ambiente ($T_a=45^\circ\text{C}$), gravedad ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$). Se toma el caso más desfavorable de la temperatura ambiente, puesto que, a mayor temperatura, más fácil será que se produzca el incendio y menor será la diferencia de temperatura entre la capa de humos y el aire del exterior y menor será el “tiro” producido por dicha diferencia.

- Valores relacionados con el sistema de protección contra incendios: Presencia de rociadores y ubicación (rociadores de techo) y temperatura de apertura de los rociadores ($T_{\text{disp}} = 93^\circ\text{C}$).

Con los datos anteriores se calcula el incendio modelo que se prevé pueda producirse en la nave y condiciones de estudio.

I.2. Caudal que entra en el penacho de humos.

Siguiendo el Anexo A apartado 1 de UNE 23585:

Para incendios que cumplen:

$$Y \leq 10 \cdot \sqrt{A_f}; \quad 7.5 \leq 10 \cdot \sqrt{34.16} = 58.45 \text{ m}$$

La fórmula facilitada para el caudal que entra en el penacho ascendente de humos es:

$$M_f = C_e \cdot P \cdot Y^{3/2} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0.188 \cdot 14.88 \cdot 7.5^{3/2} = 57.46 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

En el apartado 5 del anexo A, que es también de aplicación a la nave de almacenamiento estudiada, se corrobora el cálculo realizado según el apartado 1 del mismo Anexo.

I.3. Promedio de Temperatura absoluta en la capa flotante.

Según UNE:

· El incremento de la temperatura de la capa de humos es:

$$\theta_1 = T_c - T_a = 366.15 \text{ K} - (45 + 273.15) \text{ K} = 48 \text{ K}$$

· Con el calor del flujo de calor convectivo en los gases del humo que está saliendo de las llamas justo encima del incendio es:

$$Q_f = 0.8 \cdot q_f(bajo) \cdot A_f = 6832 \text{ KW}$$

I.4. Superficie total de aireadores naturales de extracción de humos.

Utilizando la flotabilidad de los humos como mecanismo que provoca la salida de los humos por los huecos de los aireadores.

$$A_{vtot} \cdot C_V = M \cdot \frac{T_c}{\left(2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} - \frac{M_1^2 \cdot T_c \cdot T_{amb}}{A_i \cdot C_i} \right)^{0.5}};$$

$$(A_{vtot} \cdot C_V)^2 = \frac{M \cdot M \cdot T_c^2 \cdot (A_i \cdot C_i)^2}{\left(2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} \cdot (A_i \cdot C_i)^2 - M \cdot M \cdot T_c \cdot T_{amb} \right)};$$

Tras operar queda:

$$A_{vtot} \cdot C_V = \frac{M}{\rho_{amb}} \cdot \left[\frac{T_c^2 + T_c \cdot T_{amb}}{2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}} \right]^{0.5}$$

La relación del área de entrada y salida:

$$A_i \cdot C_i = A_{vtot} \cdot \frac{C_V}{\gamma_V} = A_{vtot} \cdot C_V ;$$

Como en el caso de estudio se va a contar con dos depósitos de humos, durante el desarrollo de la evacuación de los humos, uno de los depósitos recogerá los humos generados por el incendio y les dará salida a través de los exutorios en él instalados. El aire de aporte, es decir, el aire que entra a sustituir al volumen de humo evacuado es suministrado por el depósito que no se encuentra sobre el incendio. Teniendo en cuenta que ambos depósitos de humos diseñados pueden considerarse simétricos, su área de exutorios es la misma, es decir, el área de entrada de aire de aporte y el área de salida de humos es la misma y, teniendo también en cuenta que el coeficiente aerodinámico de los exutorios es el mismo para la entrada y para la salida de aire; se llega a la conclusión de que

Los parámetros de tipo ambientales son conocidos, los parámetros desconocidos se pueden obtener gracias a sus respectivas fórmulas de cálculo facilitadas por la norma UNE.

Y sabiendo que, el espesor de la capa de humos admisible es:

$$d_1 = h_c - Y = 10.78 - 7.5 = 3.28 \text{ m}$$

Resolviendo la fórmula:

$$A_{vtot} \cdot C_V = \frac{57.46 \text{ kg/s}}{1.2 \text{ kg/m}^3} \cdot \left[\frac{(366.15^2 \text{ K}^2 + 318.15 \text{ K} \cdot 366.15 \text{ K})}{2 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3.28 \text{ m} \cdot 48 \text{ K} \cdot 318.15 \text{ K}} \right]^{0.5} = 24.18 \text{ m}^2$$

Es la superficie aerodinámica de evacuación por sector de humos, es decir, que el área total de la nave deberá ser el doble de la anterior.

Que dividiendo entre las 4 secciones impuestas por las vigas que conforman la estructura de la nave en uno de los sectores de humos y son de 1.2 m de espesor:

$$A_V \cdot C_V \cong 6.045 \text{ m}^2$$

Deberá ser la superficie aerodinámica de evacuación en cada una de los “subsectores” contenidos entre viga y viga.

La separación libre entre viguetas de la cubierta es de 1.8 metros, por ello, la anchura máxima de los exutorios será de 1.8m.

Con los resultados de estos cálculos obtenidos, se puede llevar a cabo el diseño del sistema de exutorios, su ubicación y dimensiones.

II. GUÍA DE USO DE FDS

En este anexo se pretende dar una explicación amplia del uso y la programación mediante código de las simulaciones realizadas con FDS. Para ello se han seguido las recomendaciones de la Guía de Usuario del software.

Se explican en este anexo todas las funcionalidades del software que se han utilizado para las simulaciones realizadas. También se han tenido en cuenta las otras posibilidades, que no han sido utilizadas, pero que sí podrían usarse en el caso de querer aumentar el nivel de detalle de la simulación.

II.1. Introducción a FDS:

El software FDS (Fire Dynamics Simulator) es un modelo computacional basado en la dinámica de los fluidos y que simula el flujo de un fluido impulsado por el fuego. Para ello, soluciona numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes adaptadas al flujo a baja velocidad, es decir, inferior a 0.3 Mach. FDS es un software desarrollado por NIST que proporciona una extensa documentación sobre el software y su base numérica.

Cuenta con un programa visor, el Smokeview, que se encarga de sacar por pantalla los resultados de las simulaciones realizadas con FDS. Smokeview tiene muchas y muy buenas herramientas de tratamiento de los resultados que permiten ver e interpretar de forma muy cómoda e ilustrativa dichos resultados.

II.1.1. Elementos del software FDS:

FDS tiene el objetivo de resolver problemas prácticos de incendios en la ingeniería de protección contra incendios, proporcionando al mismo tiempo una herramienta para estudiar la dinámica fundamental del fuego y la combustión.

1. El **Modelo Hidrodinámico**. Con él FDS resuelve numéricamente una forma de las ecuaciones de Navier-Stokes adaptada para baja velocidad de flujo, que es forzado térmicamente, con énfasis en el transporte de humo y calor de los incendios. El algoritmo central es un esquema predictivo-corrector explícito, de segundo orden, preciso en el espacio y en el tiempo. La turbulencia es tratada por medio de la Simulación de Gran Eddy (LES). Es posible realizar una simulación numérica directa (DNS) si la malla numérica subyacente es lo suficientemente fina. LES es el modo de operación por defecto.
2. El **Modelo de combustión**. Para la mayoría de las aplicaciones, FDS utiliza una reacción química controlada por mezcla de un solo paso que utiliza tres especies agrupadas (una especie que representa un grupo de especies). Estas especies agrupadas son aire, combustible y productos. Por defecto, las dos últimas especies agrupadas se calculan explícitamente. Las opciones son disponibles para incluir reacciones múltiples y reacciones que no están necesariamente controladas por la mezcla.
3. El **Transporte de radiación**. La transferencia de calor radiactivo se incluye en el modelo a través de la solución del transporte de radiación para un gas gris, y en algunos casos limitados utilizando un modelo de banda ancha. La ecuación está resuelta utilizando una técnica similar a los métodos de volumen finito

para el transporte convectivo, de ahí el nombre que se le ha dado es el Método de Volumen Finito (FVM).

4. La **geometría** FDS se aproxima a las ecuaciones rectoras en una malla rectilínea. Las obstrucciones rectangulares son forzados a ajustarse a la malla subyacente.
5. **Mallas Múltiples** Este es un término utilizado para describir el uso de más de una malla rectangular en un cálculo. Es posible prescribir más de una malla rectangular para manejar los casos en los que la no es fácilmente incrustado dentro de una sola malla.
6. **Condiciones de contorno** A todas las superficies sólidas se les asignan condiciones de contorno térmico, además de información sobre el comportamiento de combustión del material. La transferencia de calor y masa desde y hacia superficies sólidas se maneja normalmente con correlaciones empíricas, aunque es posible calcular.

II.1.2. Uso de FDS

Cada simulación FDS se controla mediante un único archivo de entrada basado en texto, al que normalmente se le asigna un nombre que ayuda a identificar el caso particular, y terminando con la extensión de archivo.fds. La simulación se inicia directamente a través de la línea de comandos. Este archivo describe cómo se ejecuta la simulación una vez que se ha escrito el fichero de entrada.

II.2. Creación del archivo de entrada:

Se va a crear el código necesario para la simulación de el caso de estudio siguiendo las instrucciones dadas por la guía de usuario facilitada por el NIST en su web.

II.2.1. Nombrando el archivo de entrada

El funcionamiento de FDS se basa en un único archivo de texto ASCII que contiene parámetros organizados en grupos de namelist¹³. El archivo de entrada proporciona a FDS toda la información necesaria para describir el escenario.

Se ha tenido en cuenta que FDS sobrescribirá los archivos de salida cuando se repita la simulación de un mismo archivo. Esto viene bien ya que ahorra espacio y permite correr simulaciones una tras otra sin tener que estar borrando los archivos. En el caso de que se quiera conservar un resultado se habrá de cambiar el nombre.

II.2.2. Nomenclatura en el archivo de entrada

Los parámetros se especifican dentro del archivo de entrada utilizando registros de formato “namelist”. Cada registro de “namelist” comienza con el carácter ampersand, &, seguido inmediatamente por el nombre del grupo de “namelist”, luego una lista delimitada por comas de los parámetros de entrada, y finalmente una barra

¹³ Grupos de namelist: forma en las que se agrupan los diferentes parámetros de entrada que deben ser dados a FDS. Dicha agrupación de los parámetros se realiza juntando los parámetros que definen un aspecto concreto de la simulación. Por ejemplo, los parámetros asociados a las propiedades térmicas, de resistencia, color, opacidad de los materiales utilizados serán agrupados en la namelist PROP.

inclinada, /.

Los registros de la "namelist" pueden abarcar varias líneas en el archivo de entrada, pero hay que asegurarse de terminar el registro con una barra oblicua o de lo contrario los datos no se entenderán.

Los parámetros dentro de un registro de "namelist" pueden separarse mediante comas, espacios o saltos de línea. Los comentarios y notas serán escritos en el archivo precedidos de una barra oblicua.

Los parámetros del fichero de entrada pueden ser enteros, reales, cadenas de caracteres o parámetros lógicos. Un parámetro lógico es .TRUE. o .FALSE. (los puntos son una convención de Fortran). Las cadenas de caracteres que aparecen en la Guía del usuario se usarán exactamente como están escritas: el código distingue entre mayúsculas y minúsculas, y las barra-bajas son importantes tenerlas en cuenta.

La mayoría de los parámetros de entrada son simplemente escalares reales o enteros, pero a veces las entradas son matrices multidimensionales.

II.2.3. Estructura en el archivo de entrada

En general, los registros de namelist se pueden introducir en cualquier orden en el archivo de entrada, pero se recomienda organizarlos de alguna manera sistemática. Normalmente, la información general se enumera cerca de la parte superior del archivo de entrada, y la información detallada, como obstrucciones, dispositivos, etc., se enumeran a continuación.

FDS analiza el archivo de entrada completo cada vez que procesa un grupo de namelist en particular. En el caso de algunos editores de texto, se ha observado que FDS a menudo no lee la última línea del archivo debido a la presencia de un carácter de "fin de archivo". Para asegurarse de que FDS lee el fichero de entrada completo, se debe añadir &TAIL / como la última línea al final del fichero de entrada. Esto completa el archivo de &HEAD a &TAIL. FDS ni siquiera busca esta última línea. Simplemente fuerza el carácter "fin de archivo" más allá de la entrada relevante.

Otra regla general a la hora de escribir archivos de entrada es añadir sólo parámetros que cambien el valor por defecto. Se pueden agregar comentarios generosamente al archivo, siempre y cuando estos comentarios no estén dentro de los registros de la namelist.

II.2.4. Dar nombre al trabajo

Lo primero que hay que hacer al configurar un archivo de entrada es darle un nombre al trabajo. El nombre del trabajo es importante porque a menudo un proyecto implica numerosas simulaciones, en cuyo caso los nombres de las simulaciones individuales deben ser significativos y ayudar a organizar el proyecto. El grupo de namelist HEAD contiene dos parámetros:

```
&HEAD CHID='Simulacion1', TITLE='primera simulación de prueba en la cual observamos si la geometría está bien definida/'
```

CHID son las siglas de Character ID, es una cadena de 40 caracteres o menos que se utiliza para etiquetar los archivos de salida. Si, como en el caso mostrado, CHID='Simulacion1', entonces es conveniente nombrar el

archivo de datos de entrada Simulacion1.fds para que el archivo de entrada pueda asociarse con los archivos de salida. No se permiten puntos ni espacios en CHID porque los archivos de salida están etiquetados con sufijos que son significativos para ciertos sistemas operativos de computadoras.

TITLE es una cadena de 256 caracteres o menos que describe la simulación. Es simplemente un texto descriptivo que se pasa a varios archivos de salida.

II.2.5. Definir el tiempo de simulación

TIME es el nombre de un grupo de parámetros que definen la duración de la simulación y el paso temporal inicial utilizado para avanzar en la solución de las ecuaciones discretizadas.

Normalmente, sólo se requiere la duración de la simulación en esta línea, mediante el parámetro T_END. El valor predeterminado es 1 s.

Si T_END se pone a cero, sólo se realiza el trabajo de configuración, permitiéndole comprobar rápidamente la geometría en Smokeview. Esta propiedad es la que usaremos en el código primero con el cual queremos definir la geometría.

Si se desea que la línea de tiempo empiece por un número distinto de cero, se puede utilizar el parámetro T_BEGIN para especificar el tiempo de inicio en el fichero para el primer paso de tiempo.

Se conoce que RAMPs son funciones de 1 variable independiente (normalmente tiempo) y 1 variable dependiente.

Las RAMPs basadas en el tiempo se evalúan utilizando el tiempo real si el tiempo de activación de RAMP es el mismo que el de T_BEGIN; de lo contrario, se evalúan utilizando el tiempo a partir del cual se activa la RAMP.

II.2.6. Definir la malla

En FDS los cálculos se realizan dentro de un dominio compuesto por un conjunto de volúmenes rectilíneos llamados mallas. Cada malla se divide en celdas rectangulares, cuyo número dependerá en función de la resolución deseada en la dinámica de flujo.

Para definir la malla se usa el namelist MESH que se encarga de definir el dominio computacional de cálculo.

El sistema de coordenadas dentro de una malla se ajusta a la regla de la mano derecha. El punto de origen de una malla se define por los valores primero, tercero y quinto del séxtuple numérico real, XB, y la esquina opuesta se define por los valores segundo, cuarto y sexto. En el ejemplo de definición de la geometría,

```
&MESH IJK=800,300,150, XB=0.0,80,0.0,30,0.0,15/
```

define una malla que abarca el volumen comenzando en el origen y extendiéndose 80 m en la dirección x positiva, 30 m en la dirección y positiva y 15 m en la dirección z positiva. La malla se subdivide en células uniformes mediante el parámetro IJK. En este ejemplo, la malla se divide en cubos de 10 cm. Es mejor si las celdas de malla se asemejan a cubos; es decir, la longitud, el ancho y la altura de las celdas deben ser aproximadamente las mismas. También se puede optar por crear celdas cuyas dimensiones no sean constantes a lo largo de la malla, para ello se usará el namelist TRNX, TRNY y/o TRNZ que permiten alterar la uniformidad de la malla.

La malla supone el dominio de cálculo, por ello, cualquier elemento que se extienda más allá de ella no será considerado y no aparecerán en SMV.

Se puede cambiar el sistema de coordenadas de FDS a cilíndricas o a un cálculo bidimensional cartesiano, para ello, se incluirá `CYLINDRICAL=.TRUE.` en la línea de MESH en el código.

También existe la posibilidad de hacer cálculos con el uso de mallas múltiples, pero en el caso de estudio no será necesario.

II.2.7. Definir parámetros Misceláneos

En el namelist MISC se encuentra una lista de parámetros de entrada misceláneos globales, es decir, parámetros que no encajan lógicamente en ninguna otra namelist.

Solo debe incluirse una línea MISC en el archivo de entrada. Los parámetros en ella recogidos son:

- DNS un parámetro lógico
- GVEC las 3 componentes de la gravedad, en m/s². Por defecto es `GVEC=0,0,-9.81`.
- NOISE FDS inicializa el campo de flujo con una cantidad muy pequeña de "ruido" para prevenir el desarrollo de un flujo perfectamente simétrico cuando los límites y las condiciones iniciales son perfectamente simétricas. Para desactivarlo, se ajusta `NOISE=.FALSE.` Para controlar la cantidad de ruido, se ajusta `NOISE_VELOCITY`. Su valor por defecto es 0,005 m/s.
- OVERWRITE si `.FALSE.` FDS busca la existencia de CHID.out y para la ejecución si existe.
- P_INF presión de fondo (a nivel de suelo) en Pa. Por defecto es 101325 Pa.
- TMPA temperatura ambiente, es la temperatura que posee todo solido al inicio de la simulación. Por defecto es 20 °C.
- Otros parámetros MISC permiten iniciar un cálculo sobre un campo de flujo determinado por el usuario, o parar el campo de flujo haciendo que la velocidad sea 0 en todos los puntos, también es posible cambiar los valores de la gravedad o, incluso, cambiar la vorticidad baroclínica del flujo. También permite editar las turbulencias en las cercanías de los sólidos y otros muchos parámetros que permiten realizar una simulación con FDS adaptando cualquier variable que el usuario crea necesario.

II.2.8. Definir las condiciones iniciales de la simulación.

Hay algunos escenarios para los cuales es conveniente cambiar las condiciones ambientales dentro de alguna región rectangular del dominio usando la palabra clave de la lista de nombres INIT.

Tenga en cuenta que las regiones rectangulares definidas por INIT pueden solaparse, pero en tales casos, es la segunda de las regiones solapadas la que tiene prioridad, incluyendo las condiciones por defecto. Es decir, es posible sobrescribir las condiciones iniciales explícitamente especificadas por la primera línea INIT con las condiciones iniciales por defecto implícitas por la segunda línea INIT.

Elementos.

Las concentraciones de especies pueden ser inicializadas usando `SPEC_ID(N)` y `MASS_FRACTION(N)` donde N es un índice ordinal a partir de 1 Hay que asegurarse de que especifica todas las especies (componentes de

MASS_FRACTION(N)) en la misma línea INIT.

VOLUME_FRACTION puede ser sustituido por MASS_FRACTION.

Temperatura

Densidad

Ratio de calor generado por unidad de volumen (HRRPUV)

La línea de INIT puede también ser usada para especificar una fuente volumétrica de calor. Por ejemplo,

&INIT XB=0.0,0.1,0.0,0.025,0.0,0.1, HRRPUV=1000. /

Indica que la región determinada por XB generará 1000 kW/m³. Esta característica se usará, sobre todo, para diagnóstica o para modelar un fuego de forma muy simple.

II.2.9. Definir el solucionador de presiones.

Parámetros relacionados con las ecuaciones de Poisson.

FDS utiliza las ecuaciones de Navier-Stokes para el caso de bajo número de Mach. Por ello, la velocidad del sonido se asume infinita, esto implica que, la presión a través del dominio computacional se ve afectada de forma instantánea a los cambios locales en el campo de flujo.

El solucionador de presiones es, por defecto, el solucionador FFT de CrayFishpak. Para mallas no superpuestas, es posible cambiar el solucionador de presiones de tal forma que se evite así la aparición de las componentes normales de la velocidad a los sólidos.

II.2.10. Definir los límites.

Los algoritmos en FDS están diseñados para trabajar dentro de un cierto rango de valores de densidad, temperatura y fracción de masa. Para prevenir resultados no físicos, hay límites colocados en estas variables para prevenir que un valor cause una inestabilidad numérica. Por defecto, FDS determina los valores más bajos y más altos de las variables basándose en su entrada, pero no es posible en todos los casos anticipar cuán bajo o alto puede ser un valor dado. Por lo tanto, en raras ocasiones puede ser necesario establecer límites superiores o inferiores en las fracciones de densidad, temperatura o masa de la especie. Los límites de temperatura y densidad se introducen bajo el grupo de lista de nombres llamado CLIP. Para escenarios típicos de incendio, no es necesario establecer estos valores, pero si se prevén valores relativamente bajos o altos en un caso inusual, se debe un vistazo a los resultados del cálculo para determinar si es necesario un cambio en los límites.

II.3. Construcción del modelo:

Una cantidad considerable de trabajo en el establecimiento de un cálculo radica en la especificación de la geometría del espacio a modelar y la aplicación de condiciones de contorno a las superficies sólidas. La geometría se describe en términos de obstrucciones rectangulares que pueden calentarse, quemarse, conducir el calor, etc.; y respiraderos desde los cuales el aire o el combustible pueden ser inyectados o extraídos del dominio del flujo. Se debe asignar una condición límite a cada obstrucción y ventilación describiendo sus propiedades térmicas. Un incendio es sólo un tipo de condición límite.

II.3.1. Superficies de contorno.

SURF es el grupo de lista de nombres que define la estructura de todas las superficies sólidas o aberturas dentro del dominio de flujo o que lo limitan. Las condiciones límite para obstrucciones y ventilaciones se prescriben haciendo referencia a la(s) línea(s) SURF apropiada(s) cuyos parámetros se describen en esta sección.

La condición límite por defecto para todas las superficies sólidas es la de una pared inerte lisa con la temperatura fijada en TMPA, y se denomina "INERT". Si sólo se necesita esta condición de límite, no es necesario añadir ninguna línea SURF al archivo de entrada. Si se desean condiciones de contorno adicionales, se deben listar una condición de contorno a la vez. Cada línea SURF consiste en una cadena de identificación ID='...' para permitir referencias a ella por una obstrucción o ventilación. Por lo tanto, en cada línea OBST y VENT que se describirán a continuación, la cadena de caracteres SURF_ID='...' indica el ID de la línea SURF que contiene los parámetros de condición de contorno deseados. Si se va a aplicar una línea SURF en particular como condición límite predeterminada, establezca DEFAULT=.TRUE. en la línea SURF.

II.3.2. Obstrucciones.

Toda la geometría del modelo está formada íntegramente por sólidos rectangulares, cada uno de los cuales se introduce en una sola línea en el fichero de entrada.

Cada línea OBST contiene las coordenadas de un sólido rectangular dentro del dominio de flujo. Este sólido se define por dos puntos (x1, y1, z1) y (x2, y2, z2) que se introducen en la línea OBST en términos del séxtuple real XB.

Las obstrucciones pueden tener un grosor nulo. A menudo, las láminas delgadas, como una ventana, forman una barrera, pero si la malla numérica es gruesa en relación con el grosor de la barrera, la obstrucción puede ser innecesariamente grande si se asume que es una capa de celdas de malla de grosor.

Las obstrucciones pueden protegerse de la función de punzonado de agujeros. A veces es conveniente crear una puerta o ventana utilizando un HOLE. Por ejemplo, supongamos que un HOLE es perforado en una pared para representar una puerta o ventana. Una obstrucción puede ser definida para llenar este agujero (presumiblemente para ser removida o coloreada de manera diferente o lo que sea) siempre y cuando la frase PERMIT_HOLE=.FALSE. esté incluida en la línea OBST. En general, cualquier obstrucción puede hacerse impenetrable para un HOLE usando esta frase. Por defecto, PERMIT_HOLE=.TRUE, lo que significa que se supone que una obstrucción es penetrable a menos que se indique lo contrario. Tenga en cuenta que, si una obstrucción penetrable y una obstrucción impenetrable se superponen, la obstrucción con PERMIT_HOLE=.FALSE. debe listarse primero.

Si la obstrucción no se va a eliminar o rechazar por cualquier motivo, establezca REMOVABLE=.FALSE. Esto

a veces es necesario para evitar que la FDS elimine la obstrucción si está incrustada dentro de otra, como una puerta dentro de una pared.

En raras ocasiones, es posible que no desee permitir que un VENT se conecte a una obstrucción en particular, en cuyo caso configure `ALLOW_VENT=FALSE`.

También es posible crear obstrucciones transparentes añadiendo el parámetro `TRANSPARENCY` en la línea `OBST`. Es un parámetro real entre 0 y 1. También es posible crear una obstrucción con un color determinado gracias al uso del parámetro `COLOR` o el triplete RGB.

II.3.3. Agujeros.

El namelist `HOLE` define los parámetros que hacen un agujero en una obstrucción existente o en un conjunto de obstrucciones.

Cuando se crea un `HOLE`, la obstrucción que llena el `HOLE` tomará el color del `OBST` circundante a través del cual se perforó el `HOLE`. Para hacer que la obstrucción que llena el agujero tenga un color diferente al de la obstrucción original, se debe colocar el color o el triple entero RGB en la línea del agujero. Si se desea que la obstrucción que llena el agujero sea invisible, se debe configurar `COLOR='INVISIBLE'`. Además, puede utilizar la palabra clave `TRANSPARENCY`.

Si una obstrucción no se quiere que se perforada por un agujero, se debe añadir `PERMIT_HOLE=FALSE`. a la línea `OBST`. Tenga en cuenta que un `HOLE` no tiene ningún efecto en un `VENT` o en un límite de malla.

II.3.4. Ventilaciones.

El grupo `VENT` se utiliza para prescribir planos adyacentes a obstrucciones o paredes externas.

Las superficies de ventilación se eligen de manera similar a las obstrucciones, con el séxtuple `XB` indicando un plano contiguo a una superficie sólida. Dos de las seis coordenadas deben ser iguales, indicando un plano en lugar de un sólido. Tenga en cuenta que sólo se puede especificar un `VENT` para una celda de pared determinada. Si se especifican líneas `VENT` adicionales para una celda de pared determinada, FDS emitirá un mensaje de advertencia e ignorará las líneas `VENT` redundantes.

Un `VENT` siempre debe estar conectado a una obstrucción sólida. En el caso del modelo usado en la nave estudiada, se tomarán `VENTs` en los planos `XMAX`, `XMIN`, `YMAX`, `YMIN` y `ZMAX`; puesto que se quiere modelar el edificio al aire libre y por ello se abren todos los contornos del dominio computacional.

El parámetro `OUTLINE=TRUE`. en la línea `VENT` hace que el `VENT` se dibuje como un contorno en `Smokeview`.

El parámetro `SURF_ID='OPEN'` se utiliza sólo si el `VENT` se aplica al límite exterior del dominio computacional, donde denota una apertura pasiva hacia el exterior. Por defecto, FDS asume que el límite exterior del dominio computacional (los `XB` en la línea `MESH`) es una pared sólida. Para crear un dominio total o parcialmente abierto, se deben utilizar la ventilación en modo `OPEN` en los límites exteriores de la malla. A veces es conveniente especificar las puertas o ventanas que se abren al exterior del dominio computacional, simplemente especificando que sea `OPEN`. Sin embargo, se ha tenido en cuenta que la condición del límite de presión en tal abertura es imperfecta, y se ha decidido que, ya que el flujo a través de las puerta y ventanas es importante, se extenderá el dominio unos pocos metros en lugar de usar un límite `OPEN`. Todavía se tendría que usar el límite de `OPEN` para abrir todos los lados del dominio computacional (salvo el `Z=0`), pero estas aberturas estarán lo suficientemente lejos de la puerta o ventana modelada como para no afectar el patrón de flujo.

Por defecto, FDS asume que las condiciones ambientales existen más allá de la ventilación "`OPEN`". Sin embargo, es posible modificar esta suposición. Si se asume una temperatura distinta al ambiente, se debe especificar `TMP_EXTERIOR` junto con `SURF_ID='OPEN'`. Se puede crear una función de tiempo de este

parámetro utilizando una función de ramp, `TMP_EXTERIOR_RAMP` (no suele ser recomendable).

La condición de límite de presión OPEN es más estable para flujos que son predominantemente normales a la ventilación, ya sea en su mayor parte hacia adentro o hacia afuera. Esto se debe a que la presión prescrita en un límite OPEN está mal acondicionada (una pequeña perturbación en la entrada puede llevar a un gran cambio en la salida) si el flujo es paralelo a la ventilación.

Las ventilaciones hacia el exterior del dominio computacional (ventilaciones OPEN) pueden abrirse o cerrarse durante una simulación. La mejor manera de hacerlo es creando o removiendo una obstrucción delgada que cubra el ventilador OPEN. Esto será lo que usaremos en el modelo de estudio para el caso de los exutorios y las puertas de la nave que separarán el interior de la nave del exterior.

II.3.5. Color de obstrucciones, ventilaciones, superficies y mallas.

Es muy útil poder visualizar los resultados de la simulación, de tal forma que, se pueda asignar a los objetos del modelo un color o patrón de colores con significado de identificarlos o caracterizarlos a simple vista. En FDS se pueden asignar tanto colores como imágenes patrón.

Los colores para muchos elementos dentro de FDS pueden prescribirse de dos maneras; un triplete de valores enteros de color, RGB, o una cadena de caracteres, COLOR. Los tres números enteros RGB van de 0 a 255, indicando la cantidad de rojo, verde y azul que componen el color. Si se define el COLOR por nombre, es importante que se escriba el nombre exactamente como aparece en las tablas de colores. Los parámetros de color se pueden especificar en una línea SURF, en cuyo caso todas las superficies de ese tipo tendrán ese color, o los parámetros de color se pueden aplicar directamente a obstrucciones o ventilaciones. En el modelo de estudio, se ha usado predominantemente la cadena de caracteres COLOR.

Es muy recomendable que los colores se asignen a las superficies a través de la línea SURF, ya que a medida que las geometrías de las simulaciones FDS se vuelven más complejas, es muy útil utilizar el color como comprobación puntual para determinar si las propiedades superficiales deseadas se han asignado en todo el edificio bajo estudio.

Las obstrucciones y los respiraderos pueden ser coloreados individualmente, anulando el color designado por la línea SURF. El caso especial `COLOR='INVISIBLE'` hace que la ventilación u obstrucción no sea dibujada por Smokeview. Otro caso especial `COLOR='RAINBOW'` hace que el color del conducto de ventilación, obstrucción o malla se seleccione aleatoriamente del rango completo de valores RGB; esto puede ser útil si está utilizando el grupo de lista de nombres MULT y desea diferenciar entre el conducto, la ventilación o la malla multiplicados.

II.3.6. Objetos repetidos.

A veces las obstrucciones, los agujeros y los respiraderos se repiten una y otra vez en el archivo de entrada. Esto puede ser tedioso de crear y hace que el archivo de entrada sea difícil de leer. Sin embargo, si un conjunto particular de objetos se repite en un patrón regular, se puede utilizar una utilidad conocida como multiplicador. Dicha utilidad se encuentra recogida en el namelist MULT.

II.4. Fuego y condiciones térmicas del contorno:

Se describirá cómo especificar las propiedades térmicas de los objetos sólidos. Esta parte del modelado es crítica debido a los siguientes aspectos:

- En primer lugar, tanto para incendios reales como simulados, el crecimiento del fuego es muy sensible a las propiedades térmicas de los materiales circundantes.
- Segundo, incluso si todas las propiedades del material son conocidas hasta cierto punto, los fenómenos físicos de interés pueden no ser simulados apropiadamente debido a limitaciones en los algoritmos del modelo o en la resolución de la malla numérica.

Por ello, FDS considera que es responsabilidad del usuario suministrar las propiedades térmicas de los materiales y, a continuación, evaluar el rendimiento del modelo para asegurarse de que se están capturando los fenómenos de interés.

Por defecto, se supone que el límite exterior del dominio computacional es un límite sólido que se mantiene a temperatura ambiente. Lo mismo ocurre con las obstrucciones que se añaden a la escena. Para especificar las propiedades de los sólidos, se utiliza la namelist SURF. Se supone que los sólidos consisten en capas que pueden estar hechas de diferentes materiales. Las propiedades de cada material requerido se designan mediante la namelist MATL. Estas propiedades indican la rapidez con la que se calientan los materiales y cómo se queman. Cada entrada MATL en el fichero de entrada debe tener un ID, o nombre, para que puedan asociarse con un SURF determinado mediante el parámetro MATL_ID.

Se ha de tener en cuenta que el grosor de la pared indicado por la línea OBST es independiente del grosor especificado por la línea SURF. La línea OBST define la geometría de la obstrucción (es decir, cómo la ve el solucionador de flujo). La línea SURF define las características de transferencia de calor de la obstrucción (es decir, cómo es vista la obstrucción por el solucionador de fase sólida 1D). Esto permite que una obstrucción se ajuste a la red local, pero que la solución de transferencia de calor refleje el espesor real.

II.4.1. Temperatura en una superficie y flujo de calor.

Este apartado describe cómo especificar condiciones límite térmicas simples. Éstos se utilizan a menudo cuando hay poca o ninguna información sobre las propiedades de los materiales sólidos. Si se conocen las propiedades de los materiales, es mejor especificar estas propiedades y dejar que el modelo calcule el flujo de calor y la temperatura de las paredes y otras superficies sólidas.

Normalmente, las propiedades térmicas de un límite sólido se especifican mediante la namelist MATL, que a su vez es invocado por la entrada SURF mediante la cadena de caracteres MATL_ID. Sin embargo, a veces es conveniente especificar una condición de límite de temperatura fija, en cuyo caso establecer TMP_FRONT como la temperatura de superficie en unidades de °C.

II.4.2. Flujo de calor convectivo en sólidos.

Las condiciones límite especificadas de temperatura o flujo de calor son fáciles de aplicar, pero sólo de utilidad limitada en escenarios reales de incendio. En la mayoría de los casos, las paredes, techos y suelos se componen de varias capas de materiales de revestimiento. La namelist MATL se utiliza para definir las propiedades de los materiales que componen las superficies sólidas límite. Un límite sólido puede consistir en múltiples capas de diferentes materiales, y cada capa puede consistir en múltiples componentes de material.

Estructura de los límites sólidos.

Las capas de material y los componentes se especifican en la línea SURF a través de la matriz llamada MATL_ID(IL,IC). El argumento IL es un número entero que indica el índice de capas, empezando por 1, la capa en el límite exterior. El argumento IC es un número entero que indica el índice del componente. Por ejemplo, MATL_ID(2,3)='BRICK' indica que el tercer componente de material de la segunda capa es BRICK.

Sin argumentos, se supone que el parámetro MATL_ID es una lista de los materiales en varias capas, cada capa consiste en un solo componente de material.

Cuando se aplica un conjunto de parámetros SURF a la cara de un OBST, el primer MATL_ID define la primera capa de material sólido. Los otros MATL_IDs se aplican sucesivamente. Si BACKING='EXPOSED', el último MATL_ID se aplica a la cara opuesta del OBST, asumiendo que el OBST tiene un grosor de cero o una celda de cuadrícula. Si el OBST es más grueso que una celda de cuadrícula, entonces BACKING='EXPOSED' no está definido y será tratado como si la condición BACKING='VOID' estuviera establecida. Si en el ejemplo anterior, se aplicó BRICK WALL a todo el OBST usando SURF_ID, entonces al hacer un cálculo de transferencia de calor de la cara +x a la cara x, FDS consideraría que el OBST es BRICK seguido por INSULATOR y lo mismo para un cálculo de transferencia de calor de la cara x a la cara +x. Para evitar esto, especifique un segundo SURF que tenga el MATL_ID inverso y use SURF_ID6 para aplicar las dos definiciones de SURF a caras opuestas del OBST.

Las mezclas de materiales sólidos dentro de la misma capa se pueden definir utilizando la palabra clave MATL_MASS_FRACTION. Este parámetro tiene los mismos dos índices que la palabra clave MATL_ID.

Es importante notar que los componentes de las mezclas sólidas son tratados como sustancias puras sin vacíos.

Propiedades térmicas

Para cualquier material sólido, se especifica su conductividad térmica (W/(m K)), densidad (kg/m³), calor específico (kJ/(kg K)) y emisividad (0.9 por defecto). Tanto la conductividad como el calor específico pueden ser funciones de la temperatura. La densidad y la emisividad no pueden. La dependencia de la temperatura se especifica usando la convención RAMP.

Al material sólido se le puede dar un ABSORPTION_COEFFICIENT (1/m) que permite que la radiación penetre y se absorba en el sólido. Por consiguiente, la emisión del material se basa en las temperaturas internas, no sólo en la superficie.

La emisividad de un componente MATL de un SURF tiene prioridad sobre la emisividad especificada en la línea SURF. Esto es cierto incluso si no se especifica explícitamente ninguna emisividad en la línea MATL. Su valor predeterminado sigue teniendo prioridad sobre lo que se especifique en la línea SURF.

Condiciones de los límites de la parte trasera

Las capas de un límite sólido se enumeran en orden desde la superficie. Por defecto, si la obstrucción es menor o igual que el grosor de una célula, entonces la capa más interna estará expuesta a la temperatura del aire en la parte posterior. Si la obstrucción se encuentra en el límite del dominio o tiene más de un grosor de célula, se supone que retrocede hasta un espacio de aire a temperatura ambiente. Por ejemplo, una placa de acero delgada (es decir, de espesor inferior o igual a la rejilla) utilizaría las temperaturas previstas por el FDS a ambos lados de la placa para predecir la transferencia de calor.

Hay otras condiciones de límites en la parte posterior que se pueden aplicar. Una de ellas es suponer que la pared se apoya en un material aislado, en cuyo caso no se pierde calor en el material de soporte. La expresión BACKING='INSULATED' en la línea SURF previene cualquier pérdida de calor en la parte posterior del material. El uso de esta condición significa que no es necesario especificar las propiedades del material aislante interior porque se supone que está perfectamente aislado.

Si se supone que la pared retrocede hasta la habitación del otro lado de la pared y se desea que el FDS calcule la transferencia de calor a través de la pared hacia el espacio detrás de la pared, el atributo BACKING='EXPOSED' debe aparecer en la línea SURF. Esta característica sólo funciona si la pared tiene un grosor de celda de malla menor o igual a uno, y si hay un volumen de dominio computacional distinto a cero al otro lado de la pared. Obviamente, si la pared es un límite externo del dominio, el calor se pierde en un vacío de temperatura ambiente. Lo mismo sucede si no se puede encontrar la celda de gas de la parte posterior (en cuyo caso, la pared no tendría un grosor de celda). Estas son las condiciones de contorno por defecto.

Si se asume que la pared siempre retrocede al ambiente, entonces el atributo BACKING='VOID' debe ser set.

La emisividad de la parte posterior de la superficie se puede controlar especificando EMISSIVITY_BACK en la línea SURF. Si no se especifica, la emisividad de la parte posterior se calculará durante las simulaciones como una suma ponderada por masa de las emisividades MATL.

Temperatura inicial y posterior

Por defecto, la temperatura inicial del material sólido se ajusta a la temperatura ambiente (TMPA en la línea MISC). Se utiliza TMP_INNER en la línea SURF para especificar una temperatura inicial diferente del sólido. Las capas de la superficie pueden tener diferentes temperaturas iniciales. Además, la condición límite de la temperatura de la parte posterior de un sólido se puede establecer utilizando el parámetro TMP_BACK en la línea SURF. TMP_BACK no es la temperatura real de la superficie posterior, sino la temperatura del gas a la que está expuesta la superficie posterior. Este parámetro no tiene ningún significado para superficies con BACKING='EXPOSED' o BACKING='INSULATED'.

Como alternativa a TMP_INNER también se puede utilizar RAMP_T_I para especificar el nombre de una RAMP que contenga un perfil de profundidad vs. temperatura para la superficie.

Se ha de tener en cuenta que los parámetros TMP_INNER y TMP_BACK sólo son significativos para sólidos con espesor y propiedades del material (mediante la palabra clave MATL_ID).

Paredes con materiales diferentes delante y detrás

Si se tiene un OBST que es una célula gruesa con células de gas en ambos lados (es decir, la obstrucción no está en el borde del dominio) y se aplica el atributo BACKING='EXPOSED' (RESPALDO='EXPUESTO'), entonces FDS calcula la conducción de calor a través de todo el ESPESOR, y utiliza la temperatura de la fase gaseosa y el flujo de calor en los lados frontal y posterior para las condiciones límite. Se realiza un cálculo redundante en el lado opuesto de la obstrucción. FDS siempre aplica un SURF a una obstrucción haciendo que la primera capa sea la superficie expuesta de la cara y la última capa la cara opuesta. Tomemos, por ejemplo, la definición de SURF que figura a continuación y supongamos que la distancia entre las rejillas es de 10 cm. En el lado -x del OBST, la capa 1 será MATERIAL A, la capa 2 será MATERIAL B y la capa 3 será el último MATERIAL A. En el lado +x el SURF se aplicará de la misma manera.

Tema especial: Fuente de calor interna especificada

La ecuación de conducción de calor de fase condensada tiene un término fuente que describe las fuentes internas y los sumideros de energía. Hay tres tipos de fuentes que contribuyen a este término: los calores de reacción para la pirólisis, la absorción interna y la emisión de radiación, y la fuente especificada por el usuario. Un ejemplo de caso en el que podría ser necesaria una fuente de calor específica es el calentamiento de cables eléctricos debido a la corriente interna.

Se puede especificar el término fuente interno para cada capa de la superficie utilizando INTERNAL_HEAT_SOURCE en la línea SURF. Sus unidades son kW/m³ y el valor por defecto es cero. En el siguiente ejemplo, la superficie cilíndrica que describe un cable consiste en una capa plástica externa y un núcleo interno de metal. El núcleo metálico se calienta con una potencia de 300 kW/m³.

Muros y objetos no planos

Se supone que todas las obstrucciones de las FDS se ajustan a la malla rectilínea y que todas las superficies delimitadoras son planos. Sin embargo, muchos objetos, como cables, tuberías y conductos, no son planos. Aunque estos objetos deben representarse en el FDS como "cajas", el cálculo de la transferencia interna de calor se puede realizar como si el objeto fuera realmente cilíndrico o esférico.

II.4.3. Modelos simples de pirólisis

FDS tiene varios enfoques para describir el pirólisis de sólidos y líquidos. El enfoque para tomar decisiones depende en gran medida de la disponibilidad de las propiedades de los materiales y de la idoneidad del modelo de pirólisis subyacente. Se debe tener en cuenta que todos los modelos de pirólisis en FDS requieren que se defina explícitamente la reacción en fase gaseosa. También debe tenerse en cuenta que el usuario sólo tiene que utilizar un modelo de pirólisis a la vez.

Una combustión de gas con una velocidad de liberación de calor especificada

Los combustibles sólidos y líquidos pueden modelarse especificando sus propiedades relevantes a través del grupo de lista de nombres MATL. Sin embargo, si simplemente se desea especificar un incendio de un determinado índice de liberación de calor (HRR), no se necesita especificar ninguna propiedad del material. Un incendio específico es básicamente modelado como la expulsión de combustible gaseoso de una superficie sólida o de un respiradero. Se trata esencialmente de un quemador, con una velocidad de liberación de calor especificada por unidad de área, HRRPUA, en unidades de kW/m².

Una alternativa a HRRPUA con la misma funcionalidad es MLRPUA, excepto que este parámetro especifica la Tasa de Pérdida de Masa de gas combustible por Unidad de Área en kg/(m² s). No se debe especificar HRRPUA y MLRPUA en la misma línea SURF. Ninguno de los dos puede utilizarse si el modelo contiene reacciones múltiples.

Un fuego que se propaga radialmente

A veces se desea que un incendio se extienda radialmente a una velocidad especificada. En lugar de intentar obtener las propiedades del material para modelar directamente la ignición y propagación del fuego, puede especificar la tasa de propagación del fuego directamente. Primero, se necesita agregar una línea SURF con una tasa de liberación de calor especificada, HRRPUA, y un parámetro opcional de historial de tiempo, RAMP_Q o TAU_Q. Luego, se debe especificar XYZ y SPREAD_RATE en una línea VENT o en la misma línea SURF. El fuego se dirige para que comience en el punto XYZ y se extienda radialmente a una velocidad de SPREAD_RATE (m/s).

Si la hora de inicio de la simulación, T_BEGIN, no es cero, tenga en cuenta que la hora de inicio predeterminada del fuego de propagación radial es T_BEGIN, no cero. Esto también es cierto para TAU_Q, pero no para RAMP_Q. Debido a que esto puede ser confuso, si inicia el cálculo en un momento distinto a cero, realice una prueba rápida para asegurarse de que las rampas o la propagación del fuego se comportan como se esperaba.

Combustibles sólidos que queman a una tasa especificada

Los objetos reales, como muebles, equipos de oficina, etc., son a menudo difíciles de describir a través de los parámetros SURF y MATL. A veces, la única información sobre un objeto dado son sus propiedades térmicas

a granel, su temperatura de "ignición" y su velocidad de combustión subsiguiente en función del tiempo transcurrido desde la ignición.

Después de que la superficie se ha encendido, la transferencia de calor hacia el sólido sigue siendo calculada, pero no hay acoplamiento entre la velocidad de combustión y la temperatura de la superficie. Como resultado, la temperatura de la superficie puede aumentar demasiado. Para tener en cuenta la pérdida de energía debida a la vaporización del combustible sólido, se puede especificar `HEAT_OF_VAPORIZATION` para la superficie.

Modelos complejos de pirólisis

Este apartado explica los parámetros que describen las reacciones que ocurren dentro de los materiales sólidos cuando se queman. Se recomienda encarecidamente que antes de utilizar esta forma de modelado se lea algún material de referencia sobre la pirólisis en fase sólida, por ejemplo, "Thermal Decomposition of Polymers" (Descomposición térmica de polímeros), de Hirschler y Morgan, o "Flaming Ignition of Solid Fuels" (Encendido en llamas de combustibles sólidos), de Torero, ambos incluidos en la cuarta edición del Manual de ingeniería de protección contra incendios de la SFPE.

El enfoque para tomar decisiones depende en gran medida de la disponibilidad de las propiedades de los materiales y de la idoneidad del modelo de pirólisis subyacente. Se debe tener en cuenta que todos los modelos de pirólisis en FDS requieren que se defina explícitamente la reacción en fase gaseosa. También debe tenerse en cuenta que sólo se puede utilizar un modelo de pirólisis a la vez.

II.5. Ventilaciones:

En este apartado se explica cómo modelar un sistema de ventilación. Hay dos maneras de hacerlo. En primer lugar, si sólo se desea especificar los caudales de aire que entran y salen de los compartimentos. Y, en segundo lugar, si se desea modelar todo el sistema de ventilación.

II.5.1. Modelo simple de ventilación:

Purgadores, ventiladores y calentadores simples

El sistema de ventilación de compartimentos individuales dentro de un edificio se describe utilizando condiciones de límite de velocidad. Por ejemplo, se puede soplar aire fresco y extraer humo de un compartimento especificando una velocidad en la dirección normal hacia una superficie sólida. Sin embargo, hay varias otras facetas de las condiciones de límite de velocidad que se describen a continuación.

Válvulas simples de suministro y escape

La manera más fácil de describir un ventilador de suministro o de escape es especificar un `VENT` en una superficie sólida y designar un `SURF_ID` con alguna forma de velocidad o caudal especificado. El componente normal de la velocidad se especifica normalmente directamente a través del parámetro `VEL`. Si el `VEL` es negativo, el flujo se dirige al dominio computacional, es decir, a un conducto de ventilación. Si `VEL` es positivo, el flujo se extrae del dominio, es decir, de un respiradero de escape.

Se ha de tener en cuenta también que, si el `VENT` u `OBST` cruza los límites de la malla, el `VOLUME_FLOW` especificado se volverá a colocar en cada malla de manera que se logre el flujo volumétrico deseado.

Para conseguir que FDS considere los límites del dominio computacional como límites abiertos, se deberá utilizar un `VENT` que sea del tipo `OPEN` en casa uno de los planos límites del dominio.

Flujo de masa total

En la mayoría de los casos, se especifica una ventilación simple de suministro o de escape estableciendo una velocidad normal o un flujo de volumen en una superficie sólida. Sin embargo, es posible que se desee controlar el caudal másico total por unidad de superficie ($\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ s})$) mediante el parámetro `MASS_FLUX_TOTAL`. Este parámetro utiliza la misma convención de signos que `VEL`. De hecho, el valor introducido para `MASS_FLUX_TOTAL` se convierte internamente en una condición límite de velocidad cuyo valor para una salida se ajusta en función de la densidad local. Se ha de tener en cuenta que `MASS_FLUX_TOTAL` sólo debe utilizarse para una condición de límite de flujo saliente; para el uso de flujo de entrada, se debe utilizar `MASS_FLUX`.

Calentadores

Puede crear una simple salida de aire caliente cambiando la temperatura del aire entrante

```
&SURF ID='BLOWER', VEL=-1.2, TMP_FRONT=50. /
```

El VENT con `SURF_ID='BLOWER'` soplaría 50 °C aire a 1,2 m/s en el dominio de flujo. Haciendo `VEL` positivo aspiraría el aire, en cuyo caso no sería necesario `TMP_FRONT`.

Se ha de tener en cuenta que, si se especifican parámetros de reacción en fase sólida o `HRRPUA`, no se debe prescribir ninguna velocidad.

Los gases combustibles son expulsados a una velocidad calculada por FDS.

II.6. Viento:

II.6.1. Añadir el viento en FDS:

En simulaciones donde los efectos del viento y la atmósfera son de interés, usualmente se tiene una cantidad limitada de información sobre las condiciones; típicamente una velocidad del viento, dirección, topografía básica, y condiciones climáticas.

Se supone que la velocidad del viento se toma a una altura de 2 m del suelo. Si no es así, se ajusta `Z_REF` (m) en consecuencia. La DIRECCIÓN del viento sigue la convención meteorológica habitual - un viento del norte tiene una dirección de 0° y sopla de norte a sur, o en la dirección y negativa en el sistema de coordenadas FDS. Un viento del este tiene una dirección de 90° y sopla de este a oeste, o en la dirección x negativa.

Si se conoce el valor de u^* o θ^* , se puede introducir en la línea `WIND` como `U_STAR` (m) y `THETA_STAR` (K). En caso contrario, se calcularán a partir de `L` y `z0`.

Pueden asignarse propiedades de material al SUELO si se desea, pero se ha de tener en cuenta que FDS asume que el SUELO está inicialmente a temperatura ambiente (TMPA), y la temperatura de la atmósfera aumenta o disminuye con la altura de acuerdo con las condiciones de estabilidad. La parte superior del dominio está configurada para ser 'OPEN', lo que significa que, aunque el campo de viento es más o menos paralelo a él, podría haber, por ejemplo, una pluma caliente que puede salir del dominio computacional.

Los límites laterales del dominio se pueden establecer en "OPEN" o "PERIODIC". La primera es la condición usual de entrada/salida; la segunda asume que el dominio se repite interminablemente en cada dirección. Esta es una suposición importante porque se supone que la capa límite atmosférica turbulenta que se modela usando la teoría de similitud Monin-Obukhov se desarrolla a lo largo de distancias mucho más allá del dominio computacional. El parámetro extra en la línea VENT, WIND=.TRUE, dirige al FDS a reflejar las condiciones meteorológicas básicas en todas las direcciones, pero no a reflejar las plumas de humo, dispersión de gas, etc., que usted podría crear en su escenario de incendio. Es decir, no quieres que una columna de humo que sale del límite oriental del dominio reaparezca instantáneamente en el límite occidental.

II.7. Combustión:

Una fuente común de confusión en las FDS es la distinción entre la combustión en fase gaseosa y la pirólisis en fase sólida. El primero se refiere a la reacción entre el vapor de combustible y el oxígeno; el segundo, a la generación de vapor de combustible en una superficie sólida o líquida. Mientras que puede haber muchos tipos de combustibles en una simulación de incendio FDS, en el modelo de química simple de combustión controlada por mezcla sólo puede haber un combustible gaseoso. La razón es el costo. Es costoso resolver ecuaciones de transporte para múltiples combustibles gaseosos. En consecuencia, los índices de combustión de sólidos y líquidos son ajustados automáticamente por FDS para tener en cuenta la diferencia en los calores de combustión de los diversos combustibles. En efecto, se especifica una reacción en una sola fase gaseosa como sustituto de todos los combustibles potenciales.

La combustión se puede modelar de dos maneras. Por defecto, la reacción del combustible y el oxígeno es infinitamente rápida y sólo se controla mediante la mezcla, de ahí que la etiqueta esté controlada por la mezcla. La alternativa es que la reacción es de tasa finita. Este último enfoque generalmente requiere una resolución de cuadrícula muy fina que no es práctica para aplicaciones de fuego a gran escala. Este capítulo describe ambos métodos, con énfasis en el modelo controlado por mezcla más comúnmente utilizado. El grupo de lista de nombres REAC contiene los parámetros para ambos modos de combustión.

II.7.1. Reacciones de paso único y mezcla controlada:

Este enfoque de la combustión, referido más adelante como el modelo de combustión de "química simple", considera una sola especie de combustible que está compuesta principalmente de C, H, O y N que reacciona con el oxígeno en un paso controlado por la mezcla para formar H₂O, CO₂, hollín y CO. La información sobre la reacción se proporciona en la línea REAC. Comenzando con FDS 6, debe especificar una línea REAC para modelar un incendio. Usted es responsable de definir la química básica del combustible y los rendimientos de postcombustión de CO y hollín. Los valores por defecto son 0.

Parámetros químicos simples

Sólo necesita especificar la fórmula química del combustible junto con los rendimientos de CO y hollín, y la fracción de volumen de hidrógeno en el hollín, XH.

Los siguientes parámetros pueden ser prescritos en la línea REAC cuando se utiliza el modelo de química simple. Tenga en cuenta que los diferentes YIELDS son para condiciones de post-llama bien ventiladas. Existen

opciones para predecir el rendimiento de varias especies en escenarios de incendios infraventilados, pero estos modelos especiales todavía requieren el rendimiento posterior a la llama para el CO, el hollín y cualquier otra especie enumerada a continuación.

- **FUEL** (Requerido) Una cadena de caracteres que identifica las especies de combustible para la reacción. Cuando se usa química simple, especificar FUEL hará que FDS use las propiedades termo físicas incorporadas para esa especie al computar cantidades tales como calor específico o viscosidad. La Tabla 12.1 proporciona un listado de las especies disponibles. Si el COMBUSTIBLE está en la tabla, entonces FDS usará la fórmula incorporada para obtener los valores de C, H, O, y N. Si no está listado en la Tabla 12.1, FDS usa las propiedades termofísicas del gas de ETILENO junto con el peso molecular dado por el FORMLULA o los valores de C, H, O, y N. De cualquier manera, FDS creará implícitamente una entrada SPEC para COMBUSTIBLE. Esto permite utilizar FUEL como una entrada SPEC_ID en otro lugar (por ejemplo, como una condición inicial o una cantidad de salida). Si define FUEL como SPEC, cualquier propiedad que especifique anulará los valores por defecto.
- **FÓRMULA** Una cadena de caracteres que identifica la fórmula química de la especie de combustible para la reacción. Esta entrada sólo tiene significado cuando se utiliza química simple y la fórmula sólo puede contener C, H, O o N. Especificar una fórmula significa que no es necesario especificar las entradas individuales de C, H, O y N. Consulte el apartado 12.1.2 para obtener una descripción de cómo introducir una FÓRMULA.
- **ID** Un string que identifica la reacción. Normalmente, esta etiqueta no es usada por FDS, pero es útil para etiquetar la línea REAC si se especifican más de una reacción.
- **C, H, O, N** La fórmula química del combustible. Todos los números son positivos. Debe especificarse una de las letras C o H.

Esta entrada no es necesaria si se especifica FÓRMULA o si el COMBUSTIBLE está en la Tabla 12.1.

- **CO_YIELD** La fracción de la masa de combustible convertida en monóxido de carbono, y_{CO} . Tenga en cuenta que este parámetro sólo es apropiado cuando se aplica el modelo de química simple. (Por defecto 0.)
- **SOOT_YIELD** La fracción de la masa de combustible convertida en partículas de humo, y_s . Tenga en cuenta que este parámetro sólo es apropiado cuando se aplica el modelo de química simple. (Por defecto 0.)
- **SOOT_H_FRACTION** La fracción de los átomos en el hollín que son hidrógeno. El valor por defecto es 0.1, equivalente a la entrada FORMULA='C0.9H0.1' (Sección 12.1.3). Tenga en cuenta que este parámetro sólo es apropiado cuando se aplica el modelo de química simple.
- **FUEL_RADCAL_ID** Especie de RadCal que se utilizará para el combustible. El valor por defecto es la especie RadCal por defecto para la especie de combustible o 'METANO' si no hay ninguna especie por defecto. Consulte la Sección 14.2.1 para más detalles.

Las fracciones de la masa ambiente para los constituyentes del aire se especifican en MISC utilizando las entradas:

- **Y_O2_INFTY** Fracción en masa ambiente de oxígeno (por defecto para aire seco es 0,232378)
- **Y_CO2_INFTY** Fracción de la masa ambiente de dióxido de carbono (El valor predeterminado para aire seco es 0,000595) Humedad relativa de la especie de aire de fondo, en unidades de %. (Defecto 40 %). Aquí se dan algunos ejemplos de líneas REAC.

Cuando se utiliza química simple, la FDS crea automáticamente tres especies agrupadas: aire, combustible y productos. El nombre real de la especie de combustible será el nombre dado en la línea REAC (por ejemplo, MI COMBUSTIBLE en la última muestra anterior). FDS crea estas especies agrupadas de la misma manera que lo haría en un archivo de entrada. FDS primero define la especie primitiva y luego define la especie agrupada. En

esencia, FDS crea internamente líneas de entrada como las que se muestran en el Ejemplo 2 de la Sección 12.2. Esto significa que cuando se hace química simple, aunque no se haya definido explícitamente oxígeno en el archivo de entrada, se puede solicitar una salida de oxígeno ya que fue definida implícitamente por FDS.

Generación de calor por unidad de volumen

La liberación de energía por unidad de volumen (kJ/m³) de una reacción química en fase gaseosa (o sistema de reacciones) se obtiene sumando la variación neta de la masa de cada especie en una etapa de tiempo determinada multiplicada por la entalpía de formación de la especie respectiva (kJ/kg). En esta formulación, debe especificarse la entalpía de formación para todas las especies participantes. Si una reacción (química simple o definida por el usuario) contiene sólo especies definidas en la Tabla 12.1, entonces se conocen todas las entalpías de formación. Estos valores se encuentran en el código fuente de FDS en data.f90. Para las reacciones con especies que no están incluidas en la Tabla 12.1, existen varias opciones para asegurar que se especifiquen todas las entalpías de formación.

II.8. Dispositivos y controladores:

Los rociadores, detectores de humo, medidores de flujo de calor y termopares pueden parecer completamente ajenos, pero desde el punto de vista de los FDS, son simplemente dispositivos que operan de manera específica dependiendo de las propiedades asignadas a ellos. Pueden utilizarse para registrar alguna cantidad del entorno simulado, como un termopar, o pueden representar un modelo matemático de un sensor complejo, como un detector de humo, y en algunos casos pueden desencadenar eventos, como un temporizador.

Todos los dispositivos, en el sentido más amplio de la palabra, se designan mediante el grupo de lista de nombres DEVC. Además, la funcionalidad y las propiedades avanzadas se acomodan a través de grupos de listas de nombres adicionales llamados CTRL (Control) y PROP (Propiedades).

II.8.1. Posición y orientación de los dispositivos.

Independientemente de las propiedades específicas, cada dispositivo necesita estar ubicado ya sea en un punto dentro del dominio computacional, o sobre una extensión del dominio, como un detector de humo de haz. Por ejemplo, un aspersor está situado dentro del dominio con una línea como:

```
&DEVC XYZ=3.0,5.6,2.3, PROP_ID='AcmeSprinkler123', ID='Spk_39'/
```

Las coordenadas físicas del dispositivo están dadas por un triple de números reales, XYZ. FDS utiliza estos parámetros para determinar en qué celda de gas o de pared se encuentra el dispositivo. Las propiedades del dispositivo se encuentran en la línea PROP designada por PROP_ID, que se explicará a continuación para cada uno de los dispositivos especiales incluidos en FDS. El ID de cadena de caracteres es simplemente un descriptor para identificar el dispositivo en los archivos de salida, y si hay alguna acción vinculada a su activación.

No es necesario asociar todos los dispositivos a un conjunto particular de propiedades mediante el PROP_ID. Por ejemplo, las cantidades de salida puntuales se especifican con una sola línea DEVC, como, por ejemplo

```
&DEVC ID='TC-23', XYZ=3.0,5.6,2.3, QUANTITY='TEMPERATURE'/
```

que le dice al FDS que registre la temperatura en el punto dado en función del tiempo. El ID es una etiqueta en el archivo de salida cuyo nombre es CHID_devc.csv. Nótese que FDS produce los datos almacenados para esa celda sin realizar ninguna interpolación con las celdas circundantes.

Algunos dispositivos tienen una orientación particular. El parámetro IOR (Índice de Orientación) es necesario para cualquier dispositivo que se coloque en la superficie de un sólido. Los valores 1 ó 2 ó 3 indican la dirección en la que el dispositivo "apunta". Por ejemplo, IOR=-1 significa que el dispositivo está montado en una pared que mira hacia el

dirección x negativa. La ORIENTACIÓN se utiliza para dispositivos que no están en una superficie y que requieren una especificación direccional, como un aspersor. La ORIENTACIÓN se especifica con un triple de valores numéricos reales que indican los componentes del vector de dirección. El valor por defecto de ORIENTACIÓN es (0,0,-1). Por ejemplo, un rociador de aspersión dirigido hacia abajo puede ser redirigido en otra dirección. Si tuviese que especificar

```
&DEVC XYZ=3.0,5.6,2.3, PROP_ID='...', ID='...', ORIENTATION=0.707,0.707,0.0 /
```

el aspersor apuntaría en la dirección intermedia entre las direcciones positivas x e y. Para otros dispositivos, la ORIENTACIÓN sólo cambiaría la forma en que el dispositivo es dibujado por Smokeview.

La densidad que llega al suelo desde un aspersor depende de la ubicación de los brazos del aspersor. En lugar de redefinir el patrón de aspersión para todas las direcciones posibles en las que el aspersor puede conectarse a la tubería, al DEVC se le puede asignar el parámetro ROTATION. La GIRO por defecto es 0 grados, que para un aspersor que apunta hacia abajo es el eje x positivo. ROTACIÓN positiva girará el punto de 0 grados hacia el eje y positivo.

II.8.2. Salidas del dispositivo.

Cada dispositivo tiene asociada una CANTIDAD. El historial de tiempo de cada cantidad de DEVC se envía a un archivo ASCII delimitado por comas llamado CHID_devc.csv (ver Sección 21.3 para el formato de archivo de salida). Este archivo se puede importar a la mayoría de los paquetes de software de hojas de cálculo. La mayoría de los programas de hoja de cálculo limitan el número de columnas a un número determinado (por ejemplo, la versión 2003 de Microsoft Excel tenía un límite de 256 columnas). Por defecto, FDS no pone límite a la cantidad de columnas en un archivo de valor separado por comas (.csv). Si su aplicación de hoja de cálculo permite menos columnas que el número de DEVC o CTRL en su archivo de entrada, establezca COLUMN_DUMP_LIMIT igual a TRUE. en la línea DUMP. Utilice DEVC_COLUMN_LIMIT y CTRL_COLUMN_LIMIT para indicar el límite de columnas en el dispositivo y controlar los archivos de salida. Sus valores por defecto son 254.

Por defecto, la salida DEVC se escribe en un archivo cada DT_DEVC segundos. Este incremento de tiempo se especifica en la línea DUMP. Además, por defecto, se escribe un valor promedio de tiempo para cada cantidad de interés. Para evitar que FDS promedie el tiempo de la salida DEVC, añada TIME_AVERAGED=.FALSE. a la línea DEVC.

Una opción útil para la línea DEVC es añadir RELATIVE=.TRUE, lo que indicará que sólo se debe emitir el cambio en el valor inicial de la CANTIDAD. Esto puede ser útil para estudios de verificación y validación. Puede modificar los valores de la salida CANTIDAD multiplicando por CONVERSION_FACTOR y modificando el string UNITS. También se puede cambiar la escala de las coordenadas aplicando un comando COORD_FACTOR. Esto es útil para trazar distancias no dimensionales, por ejemplo.

Si no desea que DEVC QUANTITY se incluya en el archivo de salida, configure OUTPUT=.FALSE. en la línea DEVC. A veces, los dispositivos sólo se utilizan como relojes o dispositivos de control. En estos casos, es posible que desee evitar que su salida desordene el archivo de salida. Si DEVC QUANTITY='TIME', entonces

OUTPUT está ajustado a FALSO. automáticamente. Todos los dispositivos deben tener una CANTIDAD especificada. Algunos dispositivos especiales (Sección 16.3) tienen su CANTIDAD especificada en una línea PROP. Una CANTIDAD especificada en una línea PROP asociada a una línea DEVC sustituirá a una CANTIDAD especificada en la línea DEVC

II.8.3. Rociadores.

Para especificar uno o más aspersores, es necesario especificar varios grupos diferentes de parámetros que caen en una variedad de grupos de listas de nombres. Por ejemplo, aquí hay una descripción básica del aspersor:

```
&SPEC ID='WATERVAPOR'/
```

```
&PART ID='mydroplets', DIAMETER=1000., SPEC_ID='WATERVAPOR'/
```

```
&PROP ID='K-11', QUANTITY='SPRINKLERLINKTEMPERATURE', RTI=148., C_FACTOR=0.7,
ACTIVATION_TEMPERATURE=74., OFFSET=0.10, PART_ID='mydroplets', FLOW_RATE=189.3,
```

```
PARTICLE_VELOCITY=10., SPRAY_ANGLE=30.,80., SMOKEVIEW_ID='sprinkler_upright'/ &DEVC
ID='Spr-1', XYZ=22.8,19.7,7.4, PROP_ID='K-11'/
```

```
&DEVC ID='Spr-2', XYZ=22.8,22.7,7.4, PROP_ID='K-11'/
```

Un aspersor, conocido como 'Sprinkler-1', está situado en un punto en el espacio dado por XYZ. Es un aspersor tipo 'K-11', cuyas propiedades están dadas en la línea PROP. Tenga en cuenta que los diversos nombres (IDs) no significan nada para FDS, excepto como un medio de asociar una cosa con otra, así que trate de usar IDs que sean significativos. El parámetro QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE' (CANTIDAD='TEMPERATURA DE LINK DE ASPERSOR') tiene un significado específico para FDS, dirigiéndolo a calcular la activación del dispositivo usando el algoritmo RTI (Índice de Tiempo de Respuesta [48]) estándar. Las propiedades asociadas a los aspersores incluidos en el grupo PROP son:

Índice de tiempo de respuesta RTI en unidades de (m-s)^{1/2}. (Por defecto 100.)

C_FACTOR Factor de Conducción en unidades de (m/s)^{1/2}. (Por defecto 0.)

ACTIVATION_TEMPERATURE en unidades de °C. (Por defecto 74 °C)

INITIAL_TEMPERATURE del enlace en unidades de °C. (TMPA por defecto)

FLOW_RATE o MASS_FLOW_RATE en unidades de L/min o kg/s. Una alternativa es proporcionar el K_FACTOR en unidades de L/ (min bar²) y la PRESIÓN DE OPERACIÓN, la presión manométrica en el aspersor, en unidades de bar. El caudal viene dado por K√p. Tenga en cuenta que 1 bar es equivalente a 14,5 psi, 1 gpm es equivalente a 3.785 L/min, 1 gpm/psi² es equivalente a 14.41 L/min/bar². Si se da MASS_FLOW_RATE, también debe definirse PARTICLE_VELOCITY. Tenga en cuenta que FLOW_RATE sólo es apropiado para gotas líquidas; las partículas sólidas deben utilizar MASS_FLOW_RATE.

OFFSET Radio (m) de una esfera alrededor del aspersor donde se colocan inicialmente las gotas de agua en la simulación. Se asume que más allá del OFFSET las gotitas se han roto completamente y son transportadas independientemente unas de otras. (Por defecto 0,05 m).

PARTICLE_VELOCITY Velocidad inicial de la gota. (Por defecto 0 m/s)

ORIFICE_DIAMETER Diámetro del orificio de la boquilla en m (por defecto 0 m). Esta entrada proporciona una forma alternativa de ajustar la velocidad de las gotas dando valores para FLOW_RATE y ORIFICE_DIAMETER, en cuyo caso la velocidad de las gotas se calcula dividiendo el caudal por el área de orificio. Utilice este método si no tiene información sobre la velocidad de las gotas. Sin embargo, a menudo es necesario ajustar la PARTICLE_VELOCITY para reproducir un determinado perfil de pulverización. El ORIFICE_DIAMETER no se utiliza si se especifica PARTICLE_VELOCITY o SPRAY_PATTERN_TABLE.

SPRAY_ANGLE Un par de ángulos (en grados) a través de los cuales se rocían las gotas. Los ángulos alinean un patrón de aspersión cónico relativo al polo sur de la esfera centrado en el aspersor con radio **OFFSET**. Por ejemplo, **SPRAY_ANGLE=30.,80.** dirige las gotas de agua para que salgan del rociador a través de una banda entre 60° y 10° de latitud sur, asumiendo que la **ORIENTACIÓN** del rociador es (0,0,-1), por defecto. Los patrones de pulverización elípticos pueden definirse dando un par de geles de pulverización. Por ejemplo, **SPRAY_ANGLE(1,1:2)=0.,60.** y **SPRAY_ANGLE(2,1:2)=0.,30.**, define un patrón de pulverización con un ángulo de 60 grados en la dirección del eje x y un ángulo de 30 grados en la dirección del eje y. **SPRAY_PATTERN_SHAPE** determina cómo se distribuyen las gotas dentro del **SPRAY_ANGLE** especificado. Las opciones son 'UNIFORM' y 'GAUSSIAN'. La distribución por defecto es 'GAUSSIAN'. El parámetro **SPRAY_PATTERN_MU** controla la latitud de la densidad máxima de gotas para la distribución "GAUSSIAN". El ancho de la distribución se controla mediante el parámetro **SPRAY_PATTERN_BETA**.

SPRAY_PATTERN_TABLE Nombre de un conjunto de líneas **TABL** que contienen la descripción del patrón de pulverización.

PART_ID Nombre de la línea **PART** que contiene las propiedades de las gotitas. Consulte el capítulo 15 para obtener más información.

PRESSURE_RAMP El nombre de las líneas de **RAMPA** que especifican la dependencia de la presión de la tubería en el número de aspersores y boquillas activos.

SMOKEVIEW_ID El nombre de un dibujo de un aspersor para incluir en la animación de Smokeview.

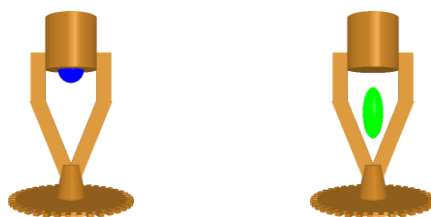


Ilustración 28. Rociador activo y sin activar.

Tenga en cuenta que los aspersores pueden producir muchas gotas. Para limitar el coste computacional, las gotitas de líquido desaparecen cuando golpean el "suelo" del dominio computacional, independientemente de si es sólido o no. Esta característica imita la presencia de desagües de piso. Para evitar que FDS elimine gotas de líquido del piso del dominio, agregue la frase **POROUS_FLOOR=FALSE.** a la línea **MISC**. Tenga en cuenta, sin embargo, que las gotas que caen al suelo continúan moviéndose horizontalmente en direcciones seleccionadas al azar; rebotando contra obstrucciones y consumiendo tiempo de la CPU. Tenga en cuenta también que las partículas sólidas no desaparecen del suelo como gotas de líquido.

II.8.4. Apertura de exutorios y puertas.

En muchos escenarios de incendio, la apertura o cierre de una puerta, exutorio o ventana puede provocar cambios drásticos en el curso del incendio. Algunas veces estas acciones se toman intencionalmente, otras veces como resultado del incendio. En el marco de un cálculo FDS, estas acciones están representadas por la creación o eliminación de obstáculos sólidos, o la apertura o cierre de respiraderos exteriores.

Se elimina o crea una obstrucción sólida asignando la cadena de caracteres **DEVC_ID** para indicar el nombre de un **DEVC ID** en la línea **OBST** que se va a crear o eliminar. Esto indicará a FDS que elimine o cree la obstrucción cuando el dispositivo cambie de estado a **.FALSE.** o **.TRUE.**, respectivamente.

La creación o eliminación a una hora predeterminada se puede realizar utilizando un DEVC que tenga TIME como su cantidad medida. Por ejemplo, las siguientes instrucciones harán que los HOLES y OBST especificados aparezcan/desaparezcan en los distintos momentos designados.

II.9. Salidas:

FDS tiene varios tipos de archivos de salida que almacenan datos calculados. Algunos de los archivos están en formato binario y están destinados a ser leídos y renderizados por Smokeview. Algunos de los archivos son sólo archivos de texto delimitados por comas. Es importante recordar que debe declarar explícitamente en el archivo de entrada la mayoría de los datos de salida del FDS. Una cantidad considerable del archivo de entrada se dedica generalmente a esto.

Para visualizar mejor los patrones de flujo, guarde cortes planares de datos, ya sea en fase gaseosa o sólida, utilizando el grupo de lista de nombres SLCF (SLiCe File) o BNDF (BouNDary File). Ambos formatos de salida le permiten animar estas cantidades en el tiempo. Para imágenes estáticas del campo de flujo, utilice la salida de Plot3D, un formato que es usado por muchos programas de CFDs como una forma simple de almacenar cantidades especificadas sobre la malla completa en un instante en el tiempo. Finalmente, las partículas trazadoras pueden ser inyectadas en el campo de flujo desde las rejillas de ventilación u obstáculos, y luego ser vistas en Smokeview. Utilice el grupo de lista de nombres PART para controlar la velocidad de inyección, la velocidad de muestreo y otros parámetros asociados con las partículas.

II.9.1. Control de las salidas.

El grupo de lista de nombres DUMP contiene parámetros (Tabla 18.6) que controlan la velocidad a la que se escriben los archivos de salida, y varios otros parámetros globales asociados con los archivos de salida. Sus parámetros incluyen:

NFRAMES Número de volcados de salida por cálculo. El valor por defecto es 1000. Los datos del dispositivo, los datos de corte, los datos de partición, los datos de iso superficie, los datos de humo 3D, los datos de borde, los datos de perfil de fase sólida y los datos de función de control se guardan cada (T_END-T_BEGIN)/NFRAMES segundos a menos que se especifique lo contrario utilizando DT_DEVC, DT_SLCF, DT_PART, DT_ISO, DT_BNDF, DT_PROF o DT_CTRL. Tenga en cuenta que DT_SLCF controla la salida Smoke3D. DT_HRR controla la salida de la tasa de liberación de calor y las cantidades asociadas.

MASS_FILE Si es.TRUE, produzca un archivo de salida que enumere las masas totales de todas las especies de gas en función del tiempo. Es.FALSE. por defecto porque el cálculo de todas las especies de gas en todas las celdas de malla consume mucho tiempo. El parámetro DT_MASS controla la frecuencia de salida.

Maximum number of Lagrangian particles that can be included on any mesh at any given time. (Por defecto 1000000)

SMOKE3D Si .FALSE, no produzca una animación del humo y el fuego. Es.TRUE. por defecto.

DT_PL3D Tiempo entre la salida del archivo Plot3D. Tenga en cuenta que las versiones de FDS antes de la salida de 6 archivos de Plot3D por defecto. Ahora, debe especificar el intervalo de salida utilizando este parámetro. Su valor por defecto es 1000000 s, lo que significa que no hay salida de Plot3D a menos que se especifique lo contrario.

FLUSH_FILE_BUFFERS FDS purga periódicamente los búferes de archivos de salida y obliga a escribir los datos en los respectivos archivos de salida. Esto hace que sea más fácil ver el caso en Smokeview mientras se está ejecutando. Se ha notado en máquinas Windows que ocasionalmente se produce un error de ejecución debido a problemas de acceso a los archivos relacionados con la limpieza del búfer. Si esto sucede, ajuste este

parámetro a `.FALSE`, pero tenga en cuenta que puede que no sea posible ver la salida en Smokeview hasta que el cálculo haya terminado. También puede configurar `DT_FLUSH` para controlar la frecuencia de la descarga de archivos. Su valor por defecto es la duración de la simulación dividida por `NFRAMES`.

`STATUS_FILES` si `.TRUE.`, produce un archivo de salida `CHID.notready` que se borra, si la simulación se completa con éxito. Este archivo se puede utilizar como indicador de error. Es `.FALSE.` por defecto.

II.9.2. La namelist DEVC.

Cada dispositivo `DEVC` contiene una `CANTIDAD` que monitorea. Normalmente esta `CANTIDAD` se escribe en un archivo de hoja de cálculo delimitado por comas con el sufijo `_devc.csv`. Las cantidades se enumeran en la Tabla 17.3. Algunas cantidades, como `MASS FLUX` y `VOLUME FRACTION` y que están marcadas con un asterisco en la Tabla 17.3, requieren que también se especifique un `SPEC_ID` - consulte la Sección 17.12 para más detalles. Hay dos tipos de salida `DEVC`. El primero es un historial temporal de la `CANTIDAD` dada en el curso de la simulación. El segundo es un perfil promediado en el tiempo que consiste en una matriz lineal de dispositivos puntuales. Cada uno se explica a continuación.

Salidas de punto único.

Si sólo desea registrar el historial de tiempo de la temperatura en un punto dado, añada la línea:

```
&DEVC XYZ=6.7,2.9,2.1, QUANTITY='TEMPERATURA', ID='T-1'
```

y se añadirá una columna al archivo de salida `CHID_devc.csv` bajo la etiqueta 'T-1'. En este caso, el ID no tiene otra función que la de ser una etiqueta de columna en el fichero de salida. FDS reporta el valor de la `CANTIDAD` en la celda donde se encuentra el punto `XYZ`.

Dispositivos sobre superficies sólidas

Al prescribir una cantidad de fase sólida, asegúrese de colocar el dispositivo en una superficie sólida. No siempre es obvio dónde está la superficie sólida, ya que la malla no siempre se alinea con los puntos de obstrucción de entrada. Para ayudar a localizar la superficie apropiada, el parámetro `IOR` debe ser incluido cuando se designa una cantidad de fase sólida, excepto cuando se usa la característica `ESTADÍSTICA` descrita en la Sección 17.10.12, en cuyo caso la cantidad de salida no está asociada con un solo punto en la superficie. Si la orientación de la superficie sólida es en la dirección `x` positiva, ajuste `IOR=1`. Si está en la dirección `x` negativa, ajuste `IOR=-1`, y así para las direcciones `y` y `z`. Por ejemplo, la línea

```
&DEVC XYZ=0.7,0.9,2.1, QUANTITY='WALLTEMPERATURE', IOR=-2, ID='...'
```

designa la temperatura de la superficie de una pared orientada en dirección negativa `y`. Todavía hay casos en los que FDS no puede determinar qué superficie sólida se está designando, en cuyo caso aparece un mensaje de error en el archivo de salida de diagnóstico. Vuelva a colocar el dispositivo e inténtelo de nuevo. Lo mejor es colocar el dispositivo, a través del trillizo real `XYZ`, de manera que la ubicación del dispositivo se encuentre en

o dentro de un ancho de celda fuera de la superficie sólida. El algoritmo de búsqueda en FDS buscará la superficie sólida más cercana en la dirección opuesta a la indicada por IOR.

Cantidades integradas

Además de las mediciones puntuales, el grupo DEVC puede ser utilizado para reportar cantidades integradas (Ver Tabla 17.3). Por ejemplo, usted puede querer saber el flujo másico que sale por una puerta o ventana. Para reportar esto, agregue la línea

```
&DEVC XB=0.3,0.5,2.1,2.5,3.0,3.0, QUANTITY='MASSFLOW', ID='whatever' /
```

Tenga en cuenta que, en este caso, se especifica un plano en lugar de un punto. Para ello se utiliza el séxtuple XB. Note cuando se desea un flujo, dos de las seis coordenadas deben ser iguales. Otra CANTIDAD, HRR, puede ser usada para calcular la tasa total de liberación de calor dentro de un subconjunto del dominio. En este caso, el séxtuple XB debería definir un volumen en lugar de un plano. La especificación del plano o volumen sobre el que se va a llevar a cabo la integración sólo puede hacerse utilizando XB - evite planos o volúmenes que crucen múltiples límites de malla. FDS tiene que decidir qué malla usar en la integración, y elige la malla más fina que se superpone al centro del plano o volumen designado.

Salidas de matrices de puntos.

Puede utilizar una sola línea DEVC para especificar una matriz lineal de dispositivos. Añadiendo el parámetro POINTS y utilizando la matriz de coordenadas séxtuple XB, puede dirigir FDS para crear una línea de dispositivos desde (x1, y1, z1) hasta (x2, y2, z2). Hay dos opciones.

Perfil de Steady-State

A veces es conveniente calcular un perfil de estado estacionario. Por ejemplo, el perfil de velocidad vertical a lo largo de la línea central de una puerta puede registrarse con la siguiente línea de entrada:

```
&DEVC XB=X1,X2,Y1,Y2,Z1,Z2, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='vel', POINTS=20 /
```

En un archivo llamado CHID_line.csv, habrá entre 1 y 4 columnas de datos asociados con esta única línea DEVC. Si X1 es diferente de X2, habrá una columna de coordenadas x asociadas a la matriz lineal de puntos. Lo mismo ocurre con las coordenadas y y z. La última columna contiene los 20 puntos de temperatura promediados a lo largo de la última DT_DEVC_LINE de la simulación - DT_DEVC_LINE se fija en la línea DUMP. Es la mitad del tiempo total de simulación por defecto. Esta es una forma conveniente de producir un perfil lineal promediado en el tiempo de una cantidad, como una matriz de termopares. Tenga en cuenta que la salida estadística al fichero _line.csv empieza a promediarse en $T=T_{END}-DT_DEVC_LINE$. Antes de este punto de la simulación, se emiten los valores brutos. Esto evita que los transitorios iniciales sesguen los valores estadísticos y obliga a que la salida del archivo "line" al final de la simulación sea equivalente al procesamiento manual de un historial de tiempo DEVC puntual en el último DT_DEVC_LINE de la simulación.

Un mismo archivo "line" puede contener más de una línea de datos. Por defecto, las columnas de coordenadas se etiquetan utilizando el ID del DEVC añadido con -x, -y o -z. Para cambiar estas etiquetas, utilice X_ID, Y_ID y/o Z_ID. Para suprimir las columnas de coordenadas por completo, añada `HIDE_COORDINATES=.TRUE.` a la línea DEVC. Esto es conveniente si tiene múltiples matrices de datos que utilizan las mismas coordenadas. Si desea que los datos se grafiquen en función de la distancia desde el origen, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, proporcione la etiqueta R_ID.

Perfil variable en el tiempo

Si no desea un perfil de estado estacionario, sino que sólo desea especificar una matriz de dispositivos espaciados uniformemente, puede utilizar una línea de entrada similar, excepto con el atributo adicional `TIME_HISTORY`.

```
&DEVC XB=X1,X2,Y1,Y2,Z1,Z2, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='vel', POINTS=20,
TIME_HISTORY=.TRUE. /
```

Esto hace que FDS sólo tenga que añadir 20 dispositivos a la lista en curso, evitándole tener que escribir 20 líneas DEVC. El ID de cada dispositivo será "vel-01", "vel-02", etc..

II.9.3. La namelist PROF.

FDS utiliza una malla fina unidimensional en cada celda límite para calcular la transferencia de calor dentro de un sólido. Utilice la salida PROF para registrar las propiedades del sólido en todo el espesor. Los parámetros (Tabla 18.19) para especificar un Perfil dado son similares a los utilizados para especificar una cantidad de superficie en el grupo DEVC. XYZ designa el trillizo de coordenadas, QUANTITY es la cantidad física por monitorizar, IOR la orientación, e ID un string de identificación. He aquí un ejemplo de cómo usaría esta función para obtener un historial de tiempo de los perfiles de temperatura dentro de una obstrucción sólida dada:

```
&PROF XYZ=..., QUANTITY='TEMPERATURA', ID='T-1',IOR=3 /
```

Otras cantidades posibles son la densidad total de la pared (`CANTIDAD = 'DENSIDAD'`) o las densidades de los componentes de material sólido (`CANTIDAD = '[MATL_ID]'`), donde `MATL_ID` es el nombre del material. Cada línea PROF crea un fichero separado. El formato del fichero producido por cada línea PROF incluye las coordenadas de nodo y la cantidad especificada cada `DT_PROF` s. Sin embargo, si especifica `FORMAT_INDEX=2` en la línea PROF, el fichero resultante contendrá columnas que contienen sólo el conjunto final de coordenadas de nodo y valores de cantidad. Esto es útil para mostrar un perfil de temperatura de estado estacionario.

II.9.4. La namelist SLCF.

Los parámetros del grupo de lista de nombres SLCF ("slice file") (Tabla 18.24) le permiten registrar varias cantidades de fase gaseosa en más de un punto. Una "rebanada" se refiere a un subconjunto de todo el dominio. Puede ser una línea, un plano o un volumen, dependiendo de los valores de XB. El sextuplet XB indica los límites del plano "slice". XB se prescribe como en los grupos OBST o VENT, con la posibilidad de que 0, 2 ó 4 de los 6 valores sean iguales para indicar un volumen, plano o línea, respectivamente. Un truco práctico es especificar, por ejemplo,

```
PBY=5.3 en lugar de XB si se desea que se guarde todo el plano y = 5.3 cortando a través del dominio.
CENTRALITA
```

y PBZ perpendiculares a los ejes x y z, respectivamente.

Por defecto, los archivos de cortes 1-D y 2-D se guardan NFRAMES veces por simulación. En la línea DUMP se puede controlar la frecuencia de salida con DT_SL3D. Si el "slice" es un volumen tridimensional, su frecuencia de salida es controlada por el parámetro DT_SL3D. Por defecto, FDS fija $DT_SL3D = (T_END - T_BEGIN)/5$. Puede especificar un valor diferente de DT_SL3D en DUMP. Tenga en cuenta que los archivos de cortes en 3D pueden llegar a ser extremadamente grandes si DT_SL3D es pequeño.

Se pueden crear vectores animados en Smokeview si una línea SL3D dada tiene el atributo VECTOR=.TRUE. Si dos entradas SL3D están en el mismo plano, entonces sólo una de las líneas necesita tener VECTOR=.TRUE. De lo contrario, se creará un conjunto redundante de cortes de componentes de velocidad.

Normalmente, el FDS promedia los datos de los archivos rebanados en las esquinas de las celdas. Por ejemplo, las temperaturas del gas se calculan en los centros de las celdas, pero se interpolan linealmente a las esquinas de las celdas y se envían a un archivo que lee Smokeview. Para evitar que esto suceda, configure CELL_CENTERED=.TRUE. Esto obliga al FDS a producir los datos reales centrados en la célula sin promediar. Tenga en cuenta que esta característica es principalmente útil para el diagnóstico, ya que le permite visualizar los valores que el FDS realmente calcula. Si CELL_CENTERED=.TRUE. se combina con VECTOR=.TRUE. se mostrarán las componentes de velocidad escalonadas. Por ejemplo,

```
&SLCF PBY=0, QUANTITY='VELOCITY', VELOCITY=.TRUE., CELL_CENTERED=.TRUE. /
```

mostrará los componentes de velocidad escalonados como vectores normales de la cara de la célula en Smokeview.

La información del archivo de rebanada se registra en archivos (consulte la Sección 21.7) etiquetados como CHID_n.sf, donde n es el índice del archivo de rebanada. Un programa Fortran fds2ascii.f90 produce un archivo de texto a partir de una línea, plano o volumen de datos. Consulte la Sección 17.11 para más detalles.

De forma predeterminada, Smokeview dejará en blanco los datos de los archivos en rebanadas dentro de las obstrucciones. Sin embargo, esto es caro de cargar al inicio en Smokeview para casos grandes. Si desea que Smokeview no almacene esta matriz de borrado, configure IBLANK_SMV=.FALSE. en MISC. Otra opción es ejecutar Smokeview desde la línea de comandos y añadir

Opcional: no blanco

II.9.5. La namelist BNDF.

Los parámetros del grupo de lista de nombres BNDF ("archivo de límites") permiten registrar las cantidades de superficie en todas las obstrucciones sólidas. Al igual que con el grupo SL3D, cada cantidad se prescribe con una línea BNDF separada, y los archivos de salida son de la forma CHID_n.bf. Sin embargo, no es necesario especificar coordenadas físicas, sólo CANTIDAD. Ver Tabla 17.3. Para determinadas cantidades de salida, es necesario especificar parámetros adicionales mediante el grupo de lista de nombres PROP. En estos casos, añada el string PROP_ID a la línea BNDF para indicar al FDS dónde encontrar la información adicional necesaria.

Tenga en cuenta que los archivos BNDF (Sección 21.9) pueden volverse muy grandes, así que tenga cuidado al prescribir el intervalo de tiempo, DT_BNDF en la línea DUMP. Una forma de reducir el tamaño del archivo de salida es desactivar el dibujo de la información de límites en las obstrucciones deseadas. En cualquier línea OBST dada, si se incluye la cadena BNDF_OBST=.FALSE., la obstrucción no se coloreará. Para desactivar todos los dibujos de límites, ajuste BNDF_DEFAULT=.FALSE. en la línea MISC. Entonces las obstrucciones individuales se pueden volver a activar con BNDF_OBST=.TRUE. en la línea OBST apropiada. Las caras individuales de una obstrucción dada pueden controlarse mediante BNDF_FACE(IOR), donde IOR es el índice de orientación (+1 para la dirección x positiva, -1 para la dirección negativa, y así sucesivamente). Normalmente, el FDS promedia los datos del archivo de límites en las esquinas de las celdas. Por ejemplo, las temperaturas de la superficie se calculan en el centro de cada celda de superficie, pero se interpolan linealmente a las esquinas de la celda y se envían a un archivo que Smokeview lee. Para evitar que esto suceda, ajuste CELL_CENTERED=.TRUE. en la línea BNDF. Esto obliga al FDS a producir los datos reales centrados en la

celda sin promediar. Tenga en cuenta que esta función es principalmente útil para el diagnóstico.

A veces es útil renderizar la CANTIDAD integrada en el tiempo. Por ejemplo, un flujo de calor en unidades de kW/m² puede ser integrado en el tiempo produciendo la energía total absorbida por la superficie en unidades de kJ/m². Para ello, establezca ESTADÍSTICAS iguales a 'TIME INTEGRAL' en la línea BNDF. Tenga en cuenta que no hay otras opciones para ESTADÍSTICAS en una línea BNDF.

II.9.6. La namelist ISOF.

El grupo de lista de nombres ISOF ("ISOsurface File") crea contornos animados tridimensionales de cantidades escalares en fase gaseosa. Por ejemplo, una isosuperficie de temperatura 300 °C es una superficie tridimensional en la que la temperatura del gas es 300 °C. A través de la línea se pueden guardar tres valores diferentes de la temperatura:

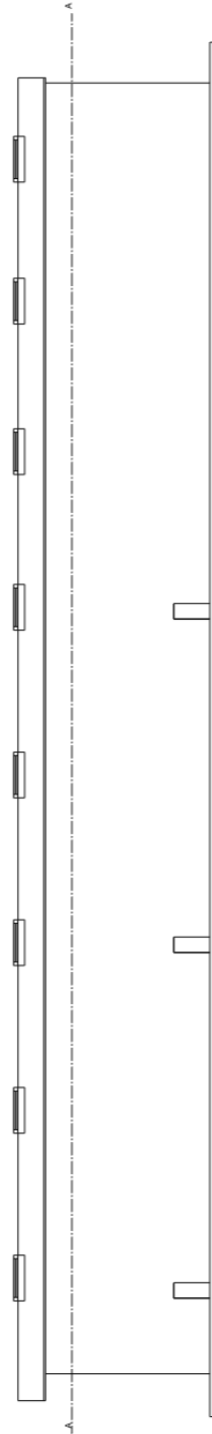
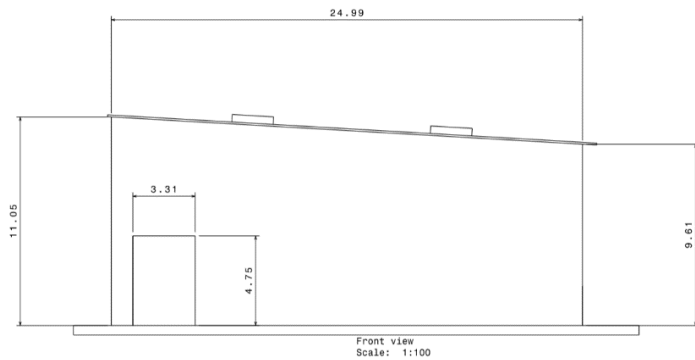
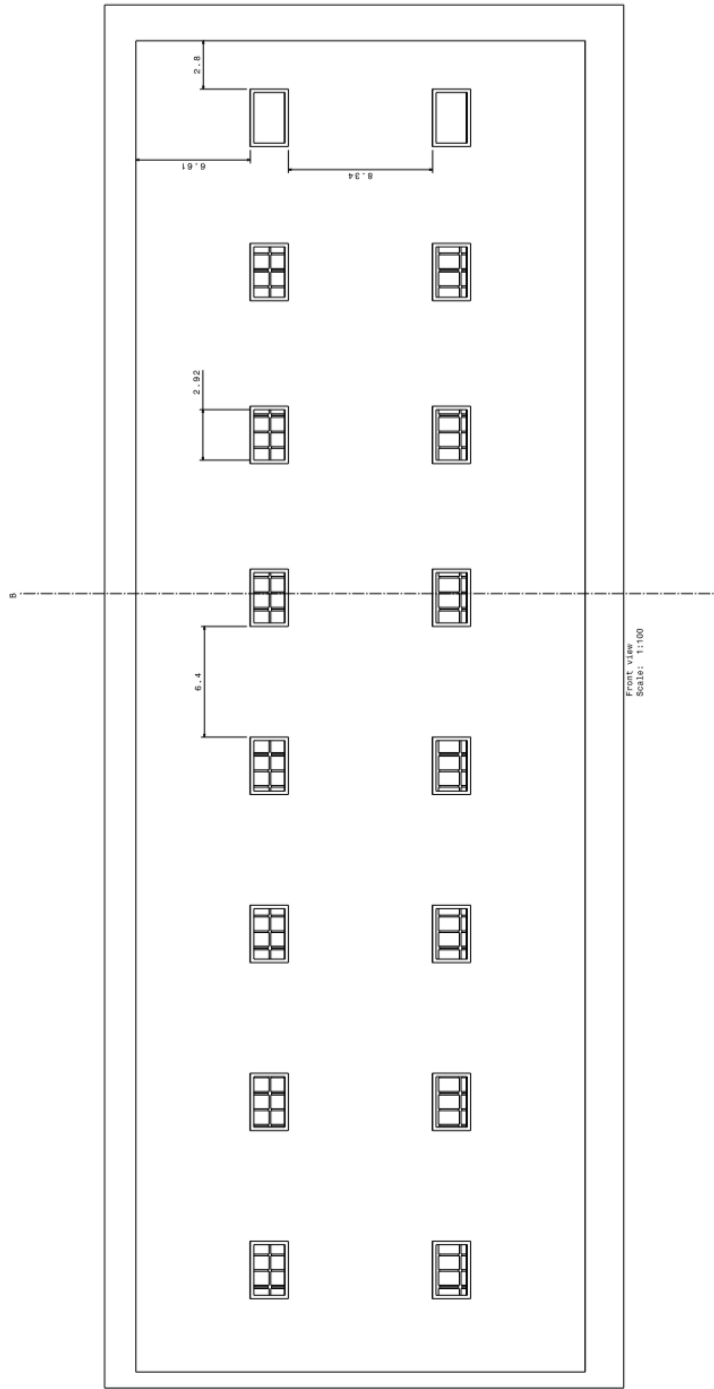
```
&ISOF CANTIDAD='TEMPERATURA', VALOR(1)=50., VALOR(2)=200., VALOR(3)=500. /
```

donde los valores están en °C. Tenga en cuenta que los archivos de salida de isosuperficie CHID_n.iso pueden llegar a ser muy grandes, así que experimente con diferentes velocidades de muestreo (DT_ISOF en la línea DUMP).

Cualquier cantidad de fase gaseosa puede ser animada a través de iso-superficies, pero tenga cuidado. Para renderizar una isosuperficie, la cantidad deseada debe ser calculada en cada celda de malla en cada paso de tiempo de salida. Para cantidades como 'TEMPERATURA', esto no es un problema, ya que FDS lo calcula y lo guarda de todos modos. Sin embargo, las fracciones de volumen de especies demandan cantidades sustanciales de tiempo para computar en cada celda de malla. Recuerde incluir el SPEC_ID correspondiente a la CANTIDAD dada si es necesario.

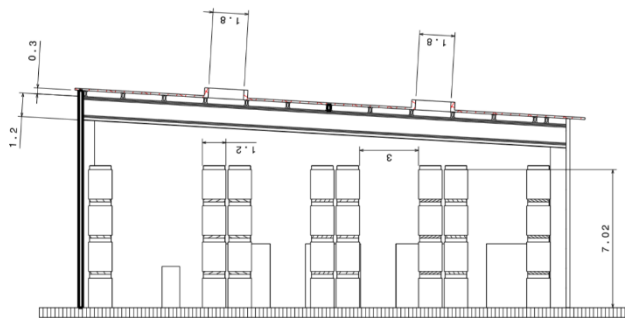
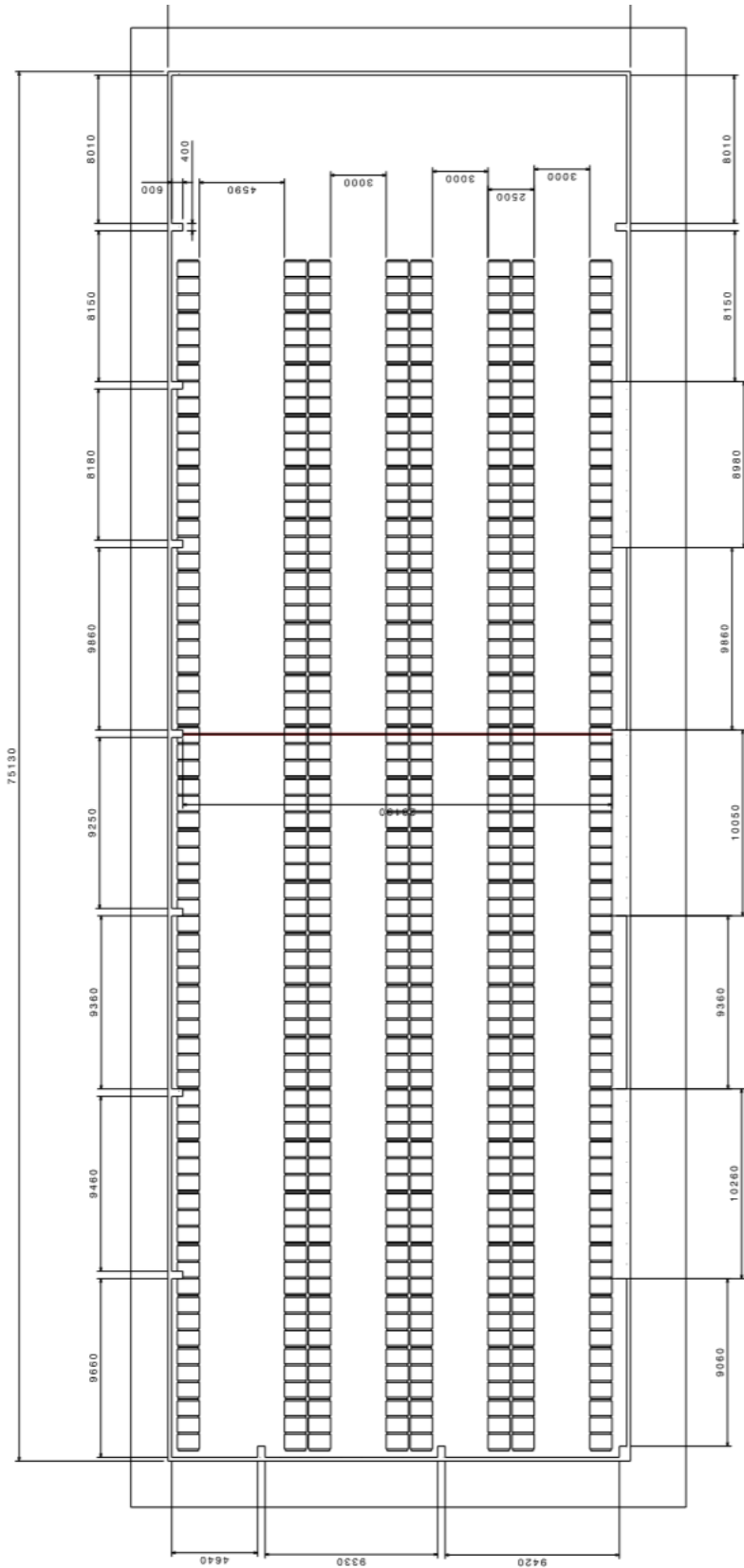
III. PLANOS

III.1. Planos de la nave:

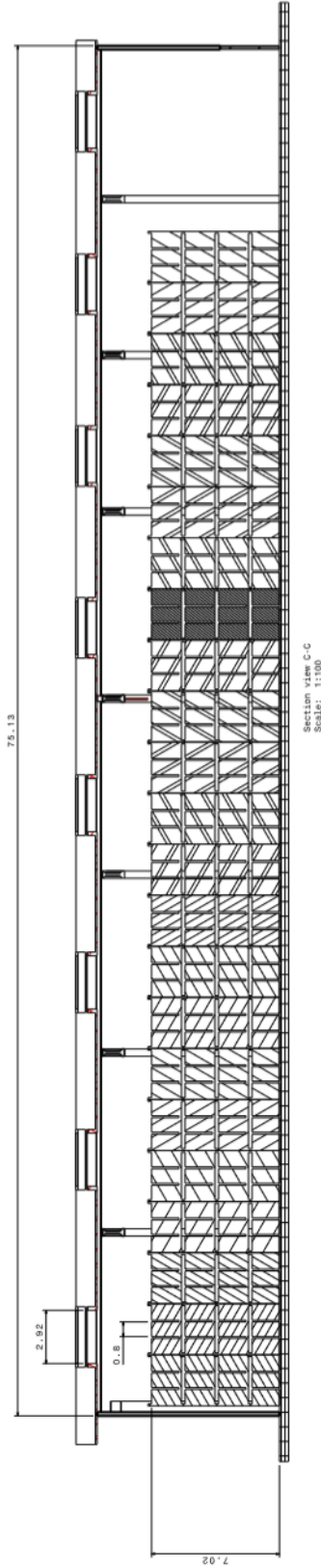


AUTOSAVE BY:		Ply Name	I	—
Antonio Urzaiz		Material	H	—
DATE:		Direction	G	—
07/07/2018		Thickness	F	—
PLOT:		SequenceID	E	—
A4		GroupID	D	—
SCALE			C	—
1:110			B	—
			A	—

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.



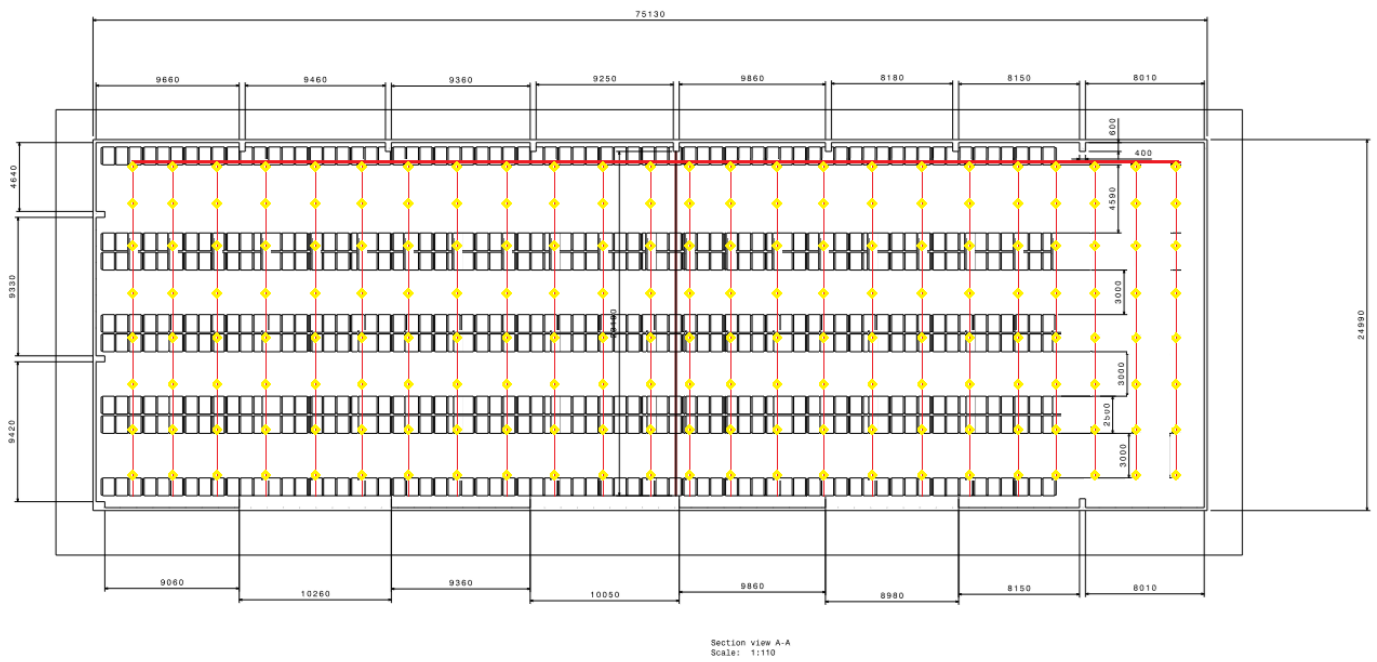
Section view B-B
Scale: 1:100



Section view C-C
Scale: 1:100

DESIGNED BY	Antonio Urzaiz	Ply Name	I
DATE	07/07/2018	Material	H
DRAWN BY		Direction	G
DATE		Thickness	F
SIZE	A4	SequenceID	E
SCALE	1:110	GroupID	D
			C
			B
			A

III.2. Planos de los rociadores:



IV. CÓDIGOS FDS

A continuación se expone el código de FDS utilizado para el Escenario 1, a partir de éste código, modificando los parámetros diferentes entre escenarios, se obtienen los códigos de los otros escenarios.

&HEAD CHID='ESCENARIO1', TITLE='Simulacion del escenario 1 con apertura de exutorios en el segundo 0, con exutorios de 1.8x2.92 y humo de 0.0075 y con curva del fuego parabolica y fuego posicionado en la mitad de la nave'/

-----MALLA-----
-----CAP 6

&MESH IJK=160.,60.,30., XB=0.0,80.,0.0,30.,0.0,15./ para el caso de baja definicion(50cm). ESTA OPCION FUNCIONA.

**CON LA OPCION DE CELDAS DE 1/3m DE TAMAÑO TB DA PB CON LA GEOM.

-----TIEMPO DE SIMULACION-----
-----CAP 6

&TIME T_END=600.0/ se coloca en 0 para q se pueda revisar rapidamente en SMV q la geom es correcta. 23mins DE SIMULACION

**TIME DT=paso entre tiempos de calculos. sino FDS toma por defecto un numero dado por una formula.

**T_BEGIN= para simular a partir de un tiempo deter. caso de funcionamiento de rociadores....

-----MISCELANEOS-----
-----CAP 6

&MISC TMPA=45., HUMIDITY=20., P_INF=101440./ Determinar la T ambiente inicial de la simulacion

**NOISE=evita la dispersion simetrica, P_INF=presion atmosférica, HUMIDITY=humedad ambiental,

**Y_O2_INFTY, Y_CO2_INFTY= fracciones de O2 y CO2 en el ambiente

-----CONDICIONES INICIALES-----
-----CAP 6

**&INIT XB=..., TEMPERATURE, MASS_FRACTION, SPEC_ID, DENSITY, HRRPUV en una deter region (XB)

-----MODELO DE INCENDIO-----
-----EJEMPLOS DE FDS

**el incendio se decide colocarse a la altura del suelo en 1/3 de la coordenada Y, puesto q en la coordenada X no hay cambios

/&OBST XB=68.,74.,4.,10.,0.0,1./ obst q sustenta al vent del fuego, en el caso de estudio no se va a usar

&SURF ID='fire', HRRPUA=250., TAU_Q=-73.01/flujo de calor por unidad de volumen, calculada segun normativa

tau_q es el momento en el cual la curva parab del incendio llega al punto de max HRR, en el caso de 250kW sera a los 73 sec y en el caso de los 1250kW en 163.26 sec

&VENT XB=16.,22.,10.,16.,0.0,0.0, XYZ=19.,13.,0., RADIUS=3., COLOR='RED',TRANSPARENCY=0.5, SURF_ID='fire'/SPREAD_RATE=0.05,incendio circular a nivel suelo

/&VENT XB=68.,74.,4.,10.,1.,1., SURF_ID='fire'/ incendio cuadrado

**se definen las 3 ppales reacciones q van a ocurrir

&REAC ID='PROPYLENE COMBUSTION', FYI='PROPYLENE, C_3 H_6', C=3., H=6., N=0.08, CO_YIELD=0.12, SOOT_YIELD=0.0075 /

/&REAC ID='CELLULOSIC COMBUSTION', FYI='CELLULOSIC, C_6 H_10 O_5', C=6., H=10., O=5., N=0.08, CO_YIELD=0.1, SOOT_YIELD=0.015 /

/&REAC ID='ETHILIC ALCOHOL COMBUSTION', FYI='ETHILIC ALCOHOL, C_2 H_6 O_1', C=2., H=6., O=1., N=0.08, CO_YIELD=0.002, SOOT_YIELD=0.0315 /

/&REAC ID='PROPANE to CO2'

/FYI='PROPANE, C_2 H_6 O_1'

/C=2.

/H=6.

/O=1.

/N=0.08

/CO_YIELD=0.02

/SOOT_YIELD=0.015 /

**se supone N presente como impureza

**Tb se puede poner ETHILIC ALCOHOL: C₂H₆O, y/o celulosa (carton): C₆H₁₀O₅, se puede meter tanto N

**el fuego parece q empieza en el sec 6, pero creo q es x tema d la definicion de la malla, q hasta el sec 6 no llega hasta los 0.5m de área d incendio

-----ESTE MODELO QUE SIGUE NO SE USARLO AUN-----

**AUN NO SE COMO PERO EMPIEZA A SALIR EL FUEGO Y EL HUMO EN EL SEGUNDO 6. tengo q ver como se maneja el tema de flujo de masa y la TAU_MF

/&REAC FUEL='ETHANE', SOOT_YIELD=0.015 /

/&SURF ID='BURNER', MASS_FLUX(1)=0.02, SPEC_ID(1)='ETHANE', TAU_MF(1)=0.01 /EN EL EXCEL SE CALCULA LA MASA Q ENTRS

/&VENT XB=70.,72.,6.,8.,0.0,0.0, XYZ=71.,7.,0., RADIUS=1., SPREAD_RATE=0.05, COLOR='BLUE', SURF_ID='BURNER' /

-----MATERIALES-----

-----CAP 8

****AQUÍ SE VA AÑADIENDO LOS MATERIALES Y SUS GROSORES Q DESPUÉS SERÁN IMPUESTOS A LOS OBST. Importante para el estudio del flujo de calor**

&MATL ID='CONCRETE', CONDUCTIVITY=1.12 , SPECIFIC_HEAT=1., DENSITY=1800/ se han tomado los valores facilitados por MVillalba

&SURF ID='CONCRETE VIGAS', MATL_ID='CONCRETE', COLOR='GRAY', BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.4/ define que el lado opuesto de la surf esta expuesto al ambiente y tiene un grosor de 20cm

&SURF ID='CONCRETE WALL', MATL_ID='CONCRETE', COLOR='GRAY', BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.2/

****Pueden tener varias capas con distintas propiedades y dist materiales**

****Cubierta. Hay q tener en cuenta las diferentes capas: aislante termico e impermeable, chapa, recubrimiento y grosores.**

&MATL ID='CUBIERTA', CONDUCTIVITY=0.55 , SPECIFIC_HEAT=0.84, DENSITY=40/

&SURF ID='CUBIERTA1', MATL_ID='CUBIERTA', COLOR='RED', BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.1/

****Puertas y portones**

&MATL ID='PUERTAS METALICAS', CONDUCTIVITY=0.53 , SPECIFIC_HEAT=0.88, DENSITY=305/

&SURF ID='PUERTAS', MATL_ID='PUERTAS METALICAS', COLOR='ORANGE RED', BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.04/

****Exutorios**

&MATL ID='VIDRIO', CONDUCTIVITY=1 , SPECIFIC_HEAT=0.78, DENSITY=2500/

&SURF ID='VIDRIO EXUTORIO', MATL_ID='VIDRIO', COLOR='BLUE', TRANSPARENCY=0.5, BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.04/

****Estantes y cajas. Hay q meterle varias capas: carton, vidrio, alcohol.**

&MATL ID='CAJAS', CONDUCTIVITY=0.69 , SPECIFIC_HEAT=0.84, DENSITY=2000/ se han tomado los valores de los ladrillos dados en ejemplos de FDS

&SURF ID='CAJAS DE MERCANCIA', MATL_ID='CAJAS', COLOR='MAROON', BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.5/

-----GEOMETRIA-----
-----CAP 7

****Primero se 'abren' los límites del dominio computacional. En las primeras simulaciones no se abrió y causó el atasco de la salida d humo.(VER SIMULACION1)**

&VENT MB='XMAX', SURF_ID='OPEN' /

&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='OPEN' /

&VENT MB='YMAX', SURF_ID='OPEN' /

&VENT MB='XMIN', SURF_ID='OPEN' /

&VENT MB='YMIN', SURF_ID='OPEN' /

****tengo q ver como hago para q se vea bien en SMV los resultados, una opcion es poner q solo se vean los contornos d la geom. pero tengo q mejorarlo. Jugando con las**

****transparencias de los objetos.**

****SURF ID='INERT'** En el caso en el cual se quieran editar las condiciones de las superficies entonces se editaran con SURF

&OBST XB=2.5,2.7,3.,30.,0.0,9.5, SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/ Pared fachada transversal 1. Hasta el final del dominio xq simula la pared contigua

&OBST XB=77.4,77.6,3.,30.,0.0,9.5, SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/ Pared fachada transversal 2. IDEM

&OBST XB=2.7,77.4,3.,3.2,0.0,9.6, SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/ Pared fach longitudinal baja

&OBST XB=2.5,77.6,28.,28.2,0.0,11.1, SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/ Pared fach longitudinal alta

/&OBST XB=0.0,80.,0.0,30.,-0.1,0.0/ Suelo. no es necesario ponerlo A MENOS Q SE QUIERAN CONTEMPLAR SU INFLUENCIA ANTE EL CALOR

****cubierta y exutorios deberán ser con MULT/ Suponemos q las viguetas se simulan con las aristas de la cubierta generada por FDS**

&MULT ID='Cubierta', DXB=0.0,0.0,1.7,1.7,0.1,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=15/

&MULT ID='Laterales',DXB=0.0,0.0,1.7,1.7,0.0,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=15/

&MULT ID='Exutorios',DX=9.3,DY=10, I_LOWER=0, I_UPPER=7, J_LOWER=0, J_UPPER=1/

****Hay q recalcular area de salida de exutorios.**

&OBST XB=2.5,77.6,3,4.66,9.6,9.8, MULT_ID='Cubierta',COLOR='RED' / cubierta debería hacerse con 15 paralelepípedos escalonados y reduciendo la vorticidad.

&OBST XB=2.5,2.7,3,4.66,9.5,9.6, MULT_ID='Laterales', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/Paredes laterales bajo cubierta

&OBST XB=77.4,77.6,3,4.66,9.5,9.6, MULT_ID='Laterales', SURF_ID='CONCRETE WALL', COLOR='GRAY'/idem

&HOLE XB=6.5,9.5,12.6,14.6,9.5,11.5, TRANSPARENCY=0.5, MULT_ID='Exutorios', COLOR='BLUE', DEVC_ID='timer1'/ Se hace con I_UPPER y J_UPPER... ya q no se replica igual en ambas direcciones

****las puertas tb se definen como HOLES**

&MULT ID='Portones', DXB=0.0,0.0,4.6,4.6,0.0,0.0, N_LOWER=0, N_UPPER=3/

&MULT ID='Puertas', DXB=19.8,19.8,0.0,0.0,0.0,0.0, N_LOWER=0,N_UPPER=2/ 19.8 es la separación media

*

&HOLE XB=77.35,77.65,4.45,7.25,0.0,3.25, MULT_ID='Portones',COLOR='ORANGE RED', DEVC_ID='timer2'/

&HOLE XB=6.9,7.8,2.95,3.25,0.0,2.1, MULT_ID='Puertas',COLOR='ORANGE RED', DEVC_ID='timer2'/

&HOLE XB=77.35,77.65,22.85,23.75,0.0,2.1, COLOR='ORANGE RED', DEVC_ID='timer2'/ puerta única en la fachada transv 2

&HOLE XB=2.45,2.75,23.54,26.85,0.0,4.75, COLOR='ORANGE RED', DEVC_ID='timer2'/ porton unico en la fachada transv 1

**Las vigas y la cortina de humos tb se definen con MULT

&MULT ID='Vigas', DXB=0.0,0.0,1.7,1.7,0.1,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=14/hay q tener en cuenta todo el recorrido de la viga

&MULT ID='Cortina', DXB=0.0,0.0,1.7,1.7,0.0,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=14/

*

&OBST XB=12.4,12.8,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE VIGAS', COLOR='SLATE GRAY'/cada una de sus posic en x se calculan a mano

&OBST XB=21.8,22.2,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE VIGAS', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=31.3,31.7,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE VIGAS', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=40.7,41.1,3,4.66,8.1,9.6, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE VIGAS', COLOR='SLATE GRAY'/ Esta viga llega hasta la cubierta. puesto q debe haber division entre dep de humos

&OBST XB=50.2,50.6,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE VIGAS', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=59.6,60,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE VIGAS', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=69,69.4,3,4.66,8.1,9.5, MULT_ID='Vigas', SURF_ID='CONCRETE VIGAS', COLOR='SLATE GRAY'/

&OBST XB=40.8,41,3,4.66,7.2,8.1, MULT_ID='Cortina', COLOR='TURQUOISE'/ de 20cm de grosor

**Pasamos a definir las estanterias geometricamente. los valores quimicos se generaran mas adelante

&MULT ID='Estanterias', DX=2.8, DY=5.5, DZ=1.84, I_LOWER=0, I_UPPER=22, J_LOWER=0, J_UPPER=3, K_LOWER=0, K_UPPER=3/

&OBST XB=3.15,5.75,4,5.2,0.0,1.5, MULT_ID='Estanterias', COLOR='MAROON'/

&OBST XB=3.15,5.75,8.2,9.4,0.0,1.5, MULT_ID='Estanterias', COLOR='MAROON'/ Aunq la hilera d estanterías final habria q ajustarla a la pared, puesto q está distanciada diferente al resto

-----ROCIADORES-----
-----CAP 16

**se calculan los valores tal y como está reflejado en la memoria

&SPEC ID='WATER VAPOR'/

&PART ID='DROPLETS', DIAMETER=700.,SPEC_ID='WATER VAPOR'/diam esta en micrometros, valor calculado en la memoria

&PROP ID='K-25', QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE', RTI=26, C_FACTOR=1,
ACTIVATION_TEMPERATURE=93.,PART_ID='DROPLETS',FLOW_RATE=707.,

PARTICLE_VELOCITY=10./

**RTI tiempo de respuesta en (m*s)^{1/2}, FACTOR de conduccion en mismas unidades

**pasamos a introducir los rociadores en la geom

&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=73.,5.,9., PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=73.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=73.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=73.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=73.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=73.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=73.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=73.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=76.,5.,9., PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=76.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=76.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=76.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=76.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=76.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=76.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=76.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=70.,5.,9., PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=70.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=70.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=70.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=70.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=70.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=70.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=70.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=67.,5.,9., PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=67.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=67.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=67.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=67.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=67.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=67.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=67.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=64.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=64.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/

&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=64.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=64.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=64.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=64.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=64.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=64.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=61.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=61.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=61.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=61.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=61.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=61.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=61.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=61.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=58.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=58.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=58.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=58.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=58.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=58.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=58.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=58.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=55.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=55.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=55.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=55.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=55.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=55.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=55.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=55.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=51.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=52.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=52.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=52.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=52.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/

&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=52.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=52.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=52.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=49.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=49.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=49.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=49.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=49.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=49.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=49.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=49.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=46.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=46.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=46.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=46.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=46.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=46.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=46.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=46.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=43.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=43.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=43.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=43.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=43.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=43.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=43.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=43.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=40.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=40.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=40.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=40.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=40.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=40.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=40.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=40.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=37.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=37.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=37.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/

&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=37.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=37.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=37.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=37.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=37.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=34.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=34.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=34.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=34.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=34.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=34.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=34.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=34.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=31.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=31.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=31.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=31.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=31.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=31.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=31.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=31.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=28.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=28.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=28.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=28.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=28.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=28.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=28.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=28.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=25.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=25.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=25.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=25.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=25.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=25.,20.,10, PROP_ID='K-25'/

&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=25.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=25.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=22.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=22.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=22.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=22.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=22.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=22.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=22.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=22.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=19.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=19.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=19.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=19.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=19.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=19.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=19.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=19.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=16.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=16.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=16.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=16.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=16.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=16.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=16.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=16.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=13.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=13.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=13.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=13.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=13.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=13.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=13.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=13.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=10.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=10.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=10.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
 &DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=10.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/

```
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=10.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=10.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=10.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=10.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=7.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=7.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=7.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=7.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=7.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=7.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=7.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=7.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=4.,5.,9, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=4.,8.,9.25, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=4.,11.,9.5, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=4.,14.,9.65, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=4.,17.,9.85, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=4.,20.,10, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=4.,23.,10.15, PROP_ID='K-25'/
&DEVC ID='SPRINKLERS', XYZ=4.,26.,10.35, PROP_ID='K-25'/
```

-----DISPOSITIVOS-----

-----CAP 16

```
&DEVC XYZ=0.1,0.1,0.1, ID='timer1', SETPOINT= 6.0, QUANTITY='TIME',
INITIAL_STATE=.FALSE./exutorios cerrados hasta 1MIN 30sec, XYZ da igual xq solo depende para la
activacion.
```

```
&DEVC XYZ=0.1,0.1,0.1, ID='timer2', SETPOINT= 900.0, QUANTITY='TIME',
INITIAL_STATE=.FALSE./puertas se abren manualmente a los 30 mins
```

-----ATMÓSFERA Y VIENTOS-----

-----CAP 10

```
&WIND SPEED=5., DIRECTION=255./
```

-----MEDIDORES-----

**En la tabla de 17.12 podemos ver los valores que se pueden obtener con SLCF

**Se consideran como condiciones mínimas para la supervivencia: (a 2m de altura)

temp, CO del 15%

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBZ=2/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2, VECTOR=.TRUE./

**Se quiere tambien ver el perfil de temperaturas en 2 planos perpendiculares q se cortan sobre el fuego

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=19, VECTOR=.TRUE./

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=13, VECTOR=.TRUE./

**visibilidad a la altura de los ojos

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=2./

**

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=19/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=21/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=17/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=13/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=11/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=15/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=9/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=17/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=9/

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE(1)=93./, VALUE(2)=70., VALUE(3)=50. /

/&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=1.8/ visibilidad a la altura de los ojos.

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=7.5/ visibilidad a la altura minima de la capa de humos

**'VISIBILITY','VOLUME FRACTION', 'DENSITY',...

** Pueden estar en un punto o en un plano.

**ISOF: para ver curvas animadas de valores fijos, por ejemplo, curvas donde la temp es 90°C

-----DUMP-----
-----CAP 17

**permite editar con la frecuencia con la q salen los parámetros y las salidas en gral.

&TAIL/

V. GUÍA DE USUARIO DE SMV

V.1. Introducción:

Smokeview es una herramienta de software científico diseñada para visualizar predicciones numéricas generadas por el fuego.

FDS y Smokeview se utilizan principalmente para modelar y visualizar fenómenos de incendios variables en el tiempo. FDS y

Sin embargo, Smokeview no se limita a la simulación de incendios. Por ejemplo, se pueden utilizar estas aplicaciones para

modelar otros fenómenos como el flujo de contaminantes en un edificio o el flujo de evacuación. Smokeview realiza

visualizaciones mediante la visualización del flujo de partículas del trazador dependiente del tiempo, cortes de contorno animados de gas calculado

y datos de superficie. Smokeview también presenta contornos y gráficos vectoriales de datos estáticos en cualquier lugar dentro de

una escena de simulación a una hora fija. Varios ejemplos que utilizan estas técnicas para investigar incidentes de incendio son

documentado en Ref. [8, 9, 10, 11].

Smokeview se utiliza antes, durante y después de la ejecución del modelo. Smokeview se utiliza en un paso de post-procesamiento para

visualizar los datos del FDS después de que se haya completado un cálculo. También se puede utilizar Smokeview durante un cálculo

para monitorear el progreso de una simulación y antes de un cálculo para configurar los archivos de entrada FDS más rápidamente. Figura 1.1

ofrece una visión general de cómo los archivos de datos utilizados por FDS, Smokeview y Smokezip, un programa utilizado para comprimir

Los archivos de datos generados por FDS están relacionados

V.2. Visualización de los datos:

Smokeview visualiza los datos generados principalmente por FDS. Smokeview visualiza datos que son a la vez dinámicos y estáticos. Los datos dinámicos se visualizan animando el flujo de partículas (mostrando la ubicación y los valores de las trazadoras), cortes de contorno en 2D (tanto dentro del dominio como en superficies sólidas)

e isosuperficies en 3D. Contorno 2D también se pueden dibujar con vectores de color que utilizan datos de velocidad para mostrar la dirección, velocidad y valor del flujo.

Los datos estáticos se visualizan de forma similar dibujando contornos 2D, gráficos vectoriales y superficies a nivel 3D.

V.2.1. Partículas.

Se pueden utilizar partículas lagrangianas o en movimiento (Sección 2.1) para visualizar el campo de flujo. A menudo estas partículas representan humo o gotas de agua. Las partículas también pueden utilizarse para representar a las personas cuando se modela el flujo de evacuación.

Los datos de partículas también pueden ser visualizados como líneas de rayas (una partícula dibujada donde ha estado por un corto período de tiempo en el pasado). Las líneas de rayas son un buen método para mostrar el movimiento usando imágenes estáticas.

V.2.2. Humo. Representación realista del volumen.

El humo y el fuego (tasa de liberación de calor por unidad de volumen) se muestran de forma realista utilizando una serie de planos parcialmente transparentes (Sección 2.2). Las transparencias de humo se determinan utilizando densidades de humo calculadas por FDS. Las transparencias de los rociadores contra incendios y de los rociadores son determinado usando una heurística basada en la tasa de liberación de calor y los datos de densidad del agua, nuevamente calculados por FDS. Varios ajustes para la opción de humo 3D pueden ser se puede configurar mediante el cuadro de diálogo Humo 3D que se encuentra en el menú Diálogos>Límites de datos. La versión Windows de Smokeview utiliza la unidad de procesamiento gráfico (GPU) de la tarjeta de vídeo para realizar algunos de los cálculos. para visualizar el humo.

V.2.3. Planos de representación de datos en 2D.

Los gráficos animados de contorno de color sombreado en 2D (Sección 3.2) se utilizan para visualizar información de la fase gaseosa, como por ejemplo temperatura o densidad. Las gráficas de contorno se dibujan en planos horizontales o verticales a lo largo de cualquier coordenada. dirección. Los contornos también se pueden dibujar en tonos de gris. Los contornos sombreados también se pueden utilizar para visualizar información calculada sobre objetos sólidos (Sección 3.3). Estos contornos se conocen como archivos de contorno.

Las gráficas animadas de contorno de color sombreado en 2D también se utilizan para visualizar cantidades de fase sólida como el flujo radiactivo o la tasa de liberación de calor por unidad de área.

Los archivos de cortes vectoriales se pueden visualizar si se registran los archivos de cortes de velocidad U, V y W. Aunque son similares a las animaciones de contorno sombreadas sólidamente (los colores vectoriales son los mismos que los colores de contorno correspondientes), las animaciones vectoriales son mejores que las animaciones de contorno sólido para resaltar las características de flujo ya que los vectores acentúan la dirección en la que se produce el flujo.

Se puede visualizar una región de datos en 3D utilizando archivos de cortes. Las lonchas se pueden desplazar de un plano a otro. al igual que con los archivos de Plot3D (usando las teclas de cursor arriba/abajo o las teclas de página arriba/página abajo). Las rebanadas en 3D también pueden se puede girar y/o desplazar haciendo doble clic y moviendo el ratón. Si también se pulsa la tecla CTRL o la tecla d (pulse y suelte la tecla d no la mantenga pulsada), el corte se mueve hacia arriba y hacia abajo. Si la tecla ALT o f es (presione y suelte la tecla f sin mantenerla presionada), la rebanada se moverá de lado a lado. De lo contrario, la rebanada gira. Los datos para los archivos de corte 3D se generan especificando una región 3D en lugar de una 2D con el &SLCF palabra clave.

Los datos calculados en los centros celulares en lugar de interpolados en los nodos celulares pueden ser visualizados. Esto es útil para investigando algoritmos numéricos como los datos visualizados no han sido interpolados antes de ser vistos.

V.2.4. Superficies de datos. Visualización en 3D.

Las animaciones de superficie a nivel de superficie en isosuperficie o 3D (Sección 3.4) pueden utilizarse para representar los límites de la llama, las interfaces de las capas y varias otras variables de la fase gaseosa. Se pueden almacenar varios isóconos en un archivo, lo que permite a uno ver varios niveles de isosuperficie simultáneamente.

V.3. Explorando los resultados:

V.3.1. Obtención de datos.

El usuario puede analizar y examinar los datos simulados alterando su apariencia para identificar más fácilmente características y comportamientos encontrados en los datos de simulación. Uno puede voltear o invertir el orden de los colores en él y también haga clic en la barra de color y deslice el ratón para resaltar los valores de los datos en la escena. Estos se pueden encontrar en el menú Opciones/Sombras.

El usuario puede hacer clic en la barra de tiempo y deslizar el ratón para cambiar el tiempo de simulación mostrado. Un solo uso para los modos de selección de la barra de tiempo y la barra de color puede ser para determinar cuando el humo de una temperatura particular entra en una habitación.

V.3.2. Filtrado de datos.

El cuadro de diálogo Configuración de archivos/restricciones... permite establecer límites, cortar u ocultar datos y, en el caso de datos de archivos rebanados, el promedio de tiempo. (Capítulo 5) La función de corte de datos es útil para resaltar los datos. Un chorro de techo, por ejemplo, puede visualizarse ocultando datos de temperatura ambiente, datos por debajo de una temperatura prescrita. El uso de promedios de tiempo permite suavizar datos ruidosos en un intervalo de tiempo seleccionable por el usuario.

V.3.3. Dar color a los datos.

Múltiples barras de color están disponibles para mostrar los datos de simulación. Se pueden crear nuevas barras de color utilizando el editor de barras de color (Sección 9.2). Las barras de color se pueden adaptar para resaltar mejor los datos de simulación visualizados. Las regiones de la simulación con determinados valores de datos se pueden resaltar haciendo clic en la barra de color.

V.3.5. Comparación de los datos.

V.4. Explorando los resultados:

V.4.1. Configuración de Motion/View/Render.

El cuadro de diálogo Movimiento/Ver/Renderizar se puede utilizar para permitir un control más preciso del movimiento y la orientación de la escena. Las teclas del cursor se han asignado a la traslación/rotación de la escena para permitir una fácil navegación dentro de la escena. Los puntos de vista pueden guardarse para un acceso posterior.

El modo de movimiento de la primera persona o del ojo permite moverse por una escena de forma más realista (Sección 1.4.2). Con las teclas de cursor y el ratón, uno puede moverse por una escena virtualmente.

V.4.2. Vistas en Stereo.

Se ha implementado un método para la visualización de imágenes estéreo/3D que no requiere de un sistema especializado. equipos tales como gafas con obturador o tarjetas de vídeo habilitadas con búfer cuádruple (Sección 5.4.4). Par estéreo las imágenes se muestran una al lado de la otra después de invocar la opción con el cuadro de diálogo Estéreo o de pulsar la tecla "S". (en mayúsculas). Aparece una vista en 3D al relajar los ojos, permitiendo que las dos imágenes se fusionen en una sola.

Pulsando de nuevo la tecla "S" se obtienen vistas estéreo generadas por la visualización de las versiones roja y azul de la pantalla. escena. Para ver la imagen se necesitan gafas con una lente izquierda roja y una lente derecha azul.

V.4.3. Recorte de escena.

A menudo es difícil visualizar los datos en geometrías complicadas debido al número de superficies obstruidas. Las partes interiores de la escena se pueden ver más fácilmente si se recorta parte de la escena. (Sección 5.7) El recorte discutido anteriormente ocurre en 3D dentro de la escena. Una captura de pantalla convertida a un archivo PNG o JPEG también se puede recortar o recortar utilizando la parte Renderizar del cuadro de diálogo Motion/View/Renderizar.

V.5. Automatizando la visualización.

V.5.1. Tour virtual.

Se puede especificar una serie de puntos de control o cuadros clave que especifiquen la posición y la dirección de la vista. (Capítulo 7) Se calcula una trayectoria suave usando splines de Kochanek-Bartels[22] para pasar a través de estos fotogramas clave de modo que uno puede controlar la posición y la dirección de visión de un observador a medida que se mueve a través de la simulación. Uno puede y luego ver la simulación como lo haría el observador. Esta opción está disponible en el menú Tour. Existentes se pueden editar las rondas y crear nuevas rondas utilizando el cuadro de diálogo Rondas que se encuentra en Diálogos>Ver menú. Los ajustes de la ronda se almacenan en el archivo de configuración local (casename.ini).

V.5.2. Secuencia de comandos.

Smokeview puede ejecutarse en modo desatendido utilizando las instrucciones que se encuentran en un archivo de script. (Capítulo 8) Estas instrucciones dirigen a Smokeview a cargar archivos de datos, archivos de configuración, establecer puntos de vista y valores de tiempo para documentar un caso mediante la renderización de la escena Smokeview en uno o más archivos de imagen. El archivo de script puede ser creado por Smokeview a medida que el usuario realiza varias acciones o puede ser creado editando un archivo de texto.

V.6. Personalizando la escena.

V.6.1. Objetos.

Se ha implementado un método para dibujar objetos realistas como un detector de calor, un detector de humo, un sensor de aspersión, etc. (Capítulo 6) . Los objetos se especifican en un archivo de datos en lugar de en Smokeview como código C. Esto permite personalizar el aspecto de los objetos (para que coincidan con los tipos de detectores/aspersores que se están utilizando) sin necesidad de realizar cambios en el código de Smokeview.

V.6.2. Texturas.

Los archivos de imagen se pueden dibujar por encima de un límite de bloqueo, ventilación o recinto (Capítulo 11). Esto se llama mapeo de texturas. Esto permite que las escenas Smokeview parezcan más realistas. Estos archivos de imagen se pueden obtener desde Internet, una cámara digital, un escáner o desde cualquier otra fuente que genere estos formatos de archivo. Los archivos de imagen utilizados para el mapeo de texturas deben ser impecables. Una textura sin costuras, como su nombre lo indica, es periódica. en ambas direcciones, horizontal y vertical. Este es un requisito especialmente importante cuando las texturas son alicatadas. o repetido a través de una superficie de bloqueo.

V.6.3. Anotando casos.

Se puede añadir texto a una escena para ayudar a documentar la salida de Smokeview. (Capítulo 14) Permite colocar etiquetas de colores en lugares específicos en momentos específicos. Una segunda palabra clave, la palabra clave TICK, coloca marcas de verificación igualmente espaciadas entre los límites especificados. Estas marcas, junto con el texto de la ETIQUETA, pueden utilizarse para especificar escalas de longitud en la escena.

La pestaña User Tick Settings del cuadro de diálogo Display proporciona una forma más fácil de colocar marcas con anotaciones de longitud a lo largo de los ejes de coordenadas.

Capítulo 2: visualizando el fuego.

Trazadores y líneas de rayas:

Los ficheros de partículas contienen las ubicaciones de las partículas trazadoras utilizadas para visualizar el campo de flujo. La figura 2.1 muestra varias instantáneas de un incendio de cocina en desarrollo visualizadas mediante el uso de partículas en las que las partículas son de color negro. Si están presentes, las gotas de agua del aspersor serán de color azul. Las partículas se almacenan en archivos que terminan con el archivo extensión.prt5 y se muestran seleccionando la entrada del archivo de partículas en el menú Cargar/Descargar.

Las líneas rectas son una técnica para mostrar el movimiento en una imagen fija. La figura 2.2 muestra una instantánea de la misma fuego en la cocina usando líneas de rayas en lugar de partículas. Las vetas comienzan a los 9 s y terminan a los 10 s.

Los datos de los archivos de partículas pueden ser convertidos a una isosuperficie utilizando Smokezip. La

ubicación de la isosuperficie se define en Los términos de densidad de partículas y el color de la isosuperficie se definen en términos de valores promedio de partículas. Véase el capítulo 15.1 para más detalles sobre el uso de Smokezip para generar archivos de isosuperficie a partir de archivos de partículas y Sección 3.4 para algunos ejemplos.

BIBLIOGRAFÍA

CEA 4001. “Sistemas de rociadores automáticos de agua (Sprinklers). Especificaciones para su diseño e instalación”.

UNE-EN 12845.” Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento”.

UNE-EN 23585. “Seguridad contra incendios. Sistemas de control de humo y calor. Requisitos y métodos de cálculo y diseño para proyectar un sistema de control de temperatura y de evacuación de humos (SCTEH) en caso de incendio estacionario.”

t-square Fire Ramp Calculator. Kristopher Overholt, 2017 [consulta: 15 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.koverholt.com/t-squared-fire-ramp-calculator/>.

NFPA 13 “Standard for the Installation of Sprinkler Systems”.

“Interacción entre rociadores automáticos y los sistemas de ventilación de edificios”. GEORGE POTTER.

NTP 928 – INSHT. “Sistemas de control de Temperaturas y evacuación de humos de incendio”

BABRAUSKAS, V. y GRAYSON, J. “Heat release in fires”. Tercera edición. Londres: Interscience Communications, 2009. ISBN: 978-0-9556548-4-8.

MCGRATTAN, K., MCDERMOTT, R., HOSTIKKA, S., FLOYD, J., WEINSCHENK, C. y OVERHOLT, K. “Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation”. Sexta edición. National Institute of Standards and Technology.

Bygbjerg, H., Deibjerg, T., Paulsen Husted, B. & Westerman, D. (2003): “Argos User’s Guide. A step by step guide to fire simulation”. Copenhagen: Danish Institute of Fire and Security Technology.

Deduri, M., Rota, R. & Tavelli, S.: A Critical Comparison Between CFD and Zone Models for the Consequence Analysis of Fires in Congested Environments. Chemical Engineering Transactions, vol. 36 (2014), pp. 247-252.

Hadjisophocleous, G. V. & McCartney, C. J.: Guidelines for the use of CFD simulations for fire and smoke modeling. ASHRAE Transactions, vol. 111, n.º 2 (2005), pp. 583-594.

Floyd, J. E. (2002): “Comparison of CFAST and FDS for Fire Simulation with the HDR T51 and T52 Test”. Washington, Estados Unidos: National Institute of Standards and Technology.

Arnalich Castañeda, A. (2015). “Incendios de interior. Ventilación de incendios”. Madrid: Griker

Orgemer.

Cajot, L. G., Haller, M. & Kesti, J. (2008): “Dissemination of Structural Fire Safety Engineering Knowledge (DIFISEK)”. Office for Official Publications of the European Communities.

Forney, G. P., Jones, W. W., Peacock, R. D. & Reneke, P. A. (2004): “Verification and Validation of CFAST. A Model of Fire Growth and Smoke Spread”. Washington, Estados Unidos: National Institute of Standards and Technology.

Walton, W. D.: “Zone computer fire models for enclosures”. En DiNenno, P. J. et al. (editores) (1988): “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Quincy”. Estados Unidos: National Fire Protection Association, pp. 148-151.

Capote Abreu, J. A.: Dinámica del incendio en edificios mediante modelado y simulación computacional: CFAST, OZONE, FDS. Grupo GIDAI, Universidad de Cantabria. Recuperado de: http://grupos.unican.es/gidai/web/art%C3%ADculo_Comparativa%20MSCI_1.pdf

Gorbett, G. E.: “Computer fire models for fire investigation and reconstruction”. En ISFI (2008): “International Symposium on Fire Investigation Science and Technology”. National Association of Fire Investigators, pp. 23-34.

Harada, K, Suzuki, K & Tanaka, T.: “A multi-layer zone model for predicting fire behavior in a single room”. En ISFI (2003): “Fire Safety Science-proceedings of the Seventh International Symposium”. National Association of Fire Investigators, pp. 851-862.

Martínez, M.: Sistemas de Control de Temperatura y Evacuación de Humos (SCTEH) en lugares de ocio. Tecnifuego, n.º 36 (febrero, 2015), pp. 30-32.

Fernández de Castro Díaz, Á.: Sistemas de control de temperaturas y evacuación de humos de incendio [Nota Técnica de Prevención 928]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Guía técnica de aplicación: reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (Real Decreto 2267/2004). Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 3 de diciembre de 2004.

<http://www.cottesgroup.com>

<http://www.firemodelsurvey.com/ZoneModels.html>

http://www.ashesfire.com/servicios_ingenieria_incendios_cfd_ashes.php

<http://www.smokecontrolexpert.com/scale-modeling.html>

<http://www.fpe.umd.edu/research/fire-modeling/cfd>

<https://pages.nist.gov/fds-smv/manuals.html>

